# ALLGEMEINE GEOGRAPHIE IV: PHYSIOGEOGRAPHIE DES SUSSWASSERS

Fritz Machatschek



## Die Sammlung

# „Aus Natur und Geisteswelt"

nunme en dem
Gedan Tüch-
tigen. , Kunst
und Te nmittel-
bar im insicht
in die

Sie iete für
den Un eutigen
method is, dem
Skizzen tragen,
nie ents iit dem
Stoffe

Sie Über-
sicht ü eistigen
Lebens immer
stärker f den
Nachb

In d swerter
Weise genheit
benutzen bt, der
Gefahr

So als die
Hälfte rbeitet,
bereits ßt eine
Verbrei

Alles eignet,
die Freu Betrag,
den ma l, auch
für die ermög-
lichen si ücherei
zu schaffen, die das für ihn Wertvollste „Aus Natur und Geisteswelt" vereinigt.

Jedes der meist reich illustrierten Bändchen
ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich

Jedes Bändchen geheftet M. 1.20, gebunden M. 1.50
Hierzu Teuerungszuschläge des Verlages und der Buchhandlungen

Leipzig, im Juli 1918. B. G. Teubner

**Jedes Bändchen geheftet M. 1.20, gebunden M. 1.50**

Bisher sind erschienen

# zur Erd- u. Völkerkunde, Geologie, Meteorologie:

## Allgemeine Geographie.

***Allgemeine Erdkunde.** 8 Bände. Jeder Band mit Abbildungen.
I. Bd. Die Erde, ihre Bewegungen und ihre Eigenschaften (mathem. Geographie und Geonomie). Von Admiralitätsrat Prof. Dr. E. Kohlschütter. (Bd. 625.) II. Bd. Die Atmosphäre der Erde (Klimatologie, Meteorologie). Von Prof. O. Baschin. (Bd. 626.) III. Bd. Geomorphologie. Von Prof. F. Machatschek. (Bd. 627.) IV. Bd. Physiogeographie des Süßwassers. Von Prof. F. Machatschek. (Bd. 628.) V. Bd. Die Meere. Von Prof. Dr. A. Merz. (Bd. 629.) VI. Bd. Die Verbreitung der Pflanzen. Von Dr. Brockmann-Jerosch. (Bd. 630.) VII. Bd. Die Verbreitung der Tiere. Von Dr. W. Knopfli. (Bd. 631.) VIII. Bd. Die Verbreitung des Menschen auf der Erdoberfläche (Anthropogeographie). Von Prof. Dr. N. Krebs. (Bd. 632.)

**Geographie der Vorwelt.** (Paläogeographie.) Von Priv.-Dozent Dr. E. Dacqué. Mit 21 Abbildungen. (Bd. 619.)

**Mensch und Erde.** Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von Geh. Rat Prof. Dr. A. Kirchhoff. 4. Aufl. (Bd. 31.)

**Natur und Mensch.** Von Realgymnasial-Direktor Prof. Dr. M. G. Schmidt. Mit 19 Abbildungen. (Bd. 458.)

**Politische Geographie.** Von Professor Dr. E. Schöne. Mit 7 Karten. (Bd. 353.)

**Die Städte.** Geographisch betrachtet. Von Prof. Dr. K. Hassert. M. 21 Abb. (Bd. 163.)

**Das Meer, seine Erforschung und sein Leben.** Von Professor Dr. O. Janson. 3. Aufl. Mit 40 Abbildungen. (Bd. 30.)

**Das Zeitalter der Entdeckungen.** Von Prof. Dr. S. Günther. 3. Auflage. Mit einer Weltkarte. (Bd. 26.)

**Die Polarforschung.** Geschichte der Entdeckungsreisen zum Nord- und Südpol von den ältesten Zeiten bis zur Gegenw. V. Prof. Dr. K. Hassert. 3. Aufl. M. 6 Kart. (Bd. 38.)

***Vermessungs- und Kartenkunde.** 6 Bände. Jeder Band mit Abbildungen.
I. Bd. Geographische Ortsbestimmung. Von Prof. Schnauder. (Bd. 606.) II. Bd. Erdmessung. Von Prof. Dr. Osw. Eggert. (Bd. 607.) III. Bd. Landmessung. Von Steuerrat Suckow. (Bd. 608.) IV. Bd. Ausgleichungsrechnung. V. Geh. Reg.-Rat Prof. E. Hegemann. (Bd. 609.) V. Bd. Photogrammetrie u. Stereophotogrammetrie. Von Dipl.-Ing. Hermann Lüscher. (Bd. 610.) VI. Bd. Kartenkunde. Von Finanzrat Dr. Ing. A. Egerer. I. Einführung in das Kartenverständnis. II. Kartenherstellung. (Landesaufnahme.) (Bd. 611/612.)

***Geographisches Wörterbuch.** Von Prof. Dr. O. Kende. (Teubners kleine Fachwörterbücher. Geb. ca. M. 3.–.)

## Länderkunden.

**Die deutschen Volksstämme und Landschaften.** Von Prof. Dr. O. Weise. 5., völlig umgearb. Aufl. Mit 30 Abbildungen im Text und auf 20 Tafeln und 1 Dialektkarte Deutschlands. 23.–29. Tausend. (Bd. 16.)

**Belgien.** Von Dr. P. Oßwald. 3. Aufl. Mit 5 Karten im Text. (Bd. 501.)

**Das Ostseegebiet.** V. Prof. Dr. G. Braun. M. 21 Abb. u. 1 mehrfarb. Kart. (Bd. 367.)

**Die Ostmark.** Eine Einführung in die Probleme ihrer Wirtschaftsgeschichte. Von Prof. Dr. W. Mitscherlich. (Bd. 351.)

**Die Baltischen Provinzen.** Von Dr. V. Tornius. Mit 8 Abbildungen u. 2 Kartenskizzen. 3. Auflage. (Bd. 542.)

**Polen.** Mit einem geschichtlichen Überblick über die polnisch-ruthenische Frage. Von Prof. Dr. R. F. Kaindl. 2. verbesserte Auflage. Mit 6 Karten. (Bd. 547.)

***Finnland.** Von Lektor J. Öhquist. (Bd. 700.)

**Rußland.** Geschichte, Staat, Kultur. Von Dr. A. Luther. (Bd. 563.)

***Bulgarien.** Von Privatdozent Dr. H. Grothe. (Bd. 597.)

***Neugriechenland.** Von Prof. Dr. A. Heisenberg. (Bd. 613.)

**Die Türkei.** Von Reg.-Rat P. R. Krause. Mit 2 Karten i. T. u. auf 1 Tafel. 2. Afl. (Bd. 469.)

# Die Sammlung
# „Aus Natur und Geisteswelt"

nme ... en dem
edan ... Tüch-
gen ... , Kunst
d Te ... mittel-
t im ... insicht
u die

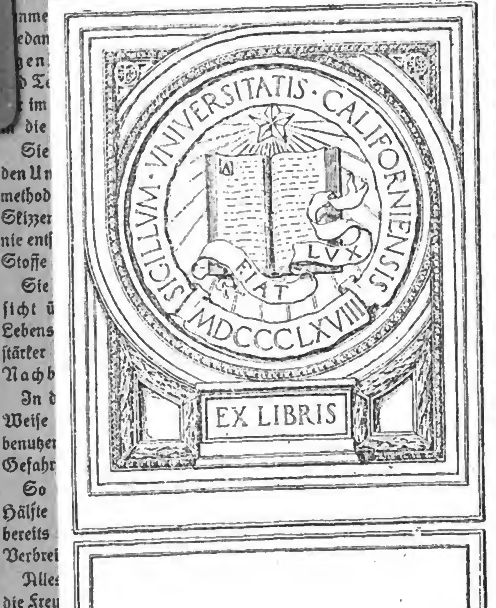
Sie ... iete für
den Un ... eutigen
method ... is, dem
Skizzen ... tragen,
nie ents ... it dem
Stoffe

Sie ... Über-
sicht ü ... eistigen
Lebens ... immer
stärker ... f den
Nachb

In d ... swerter
Weise ... genheit
benutzer ... bt, der
Gefahr

So ... als die
Hälfte ... rbeitet,
bereits ... zt eine
Verbrei

Alles ... eignet,
die Freu ... Betrag,
den ma ... , auch
für die ... ermög-
lichen si ... ücherei




zu schaffen, die das für ihn Wertvollste „Aus Natur und Geisteswelt" vereinigt.

Jedes der meist reich illustrierten Bändchen
ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich

Jedes Bändchen geheftet M. 1.20, gebunden M. 1.50
Hierzu Teuerungszuschläge des Verlages und der Buchhandlungen

Leipzig, im Juli 1918.

**Jedes Bändchen geheftet M. 1.20, gebunden M. 1.50**

Bisher sind erschienen

# zur Erd- u. Völkerkunde, Geologie, Meteorologie:

## Allgemeine Geographie.

***Allgemeine Erdkunde.** 8 Bände. Jeder Band mit Abbildungen.
I. Bd. Die Erde, ihre Bewegungen und ihre Eigenschaften (mathem. Geographie und Geonomie). Von Admiralitätsrat Prof. Dr. E. Kohlschütter. (Bd. 625.) II. Bd. Die Atmosphäre der Erde (Klimatologie, Meteorologie). Von Prof. O. Baschin. (Bd. 626.) III. Bd. Geomorphologie. Von Prof. F. Machatschek. (Bd. 627.) IV. Bd. Physiogeographie des Süßwassers. Von Prof. F. Machatschek. (Bd. 628.) V. Bd. Die Meere. Von Prof. Dr. A. Merz. (Bd. 629.) VI. Bd. Die Verbreitung der Pflanzen. Von Dr. Brockmann-Jerosch. (Bd. 630.) VII. Bd. Die Verbreitung der Tiere. Von Dr. W. Knopfli. (Bd. 631.) VIII. Bd. Die Verbreitung des Menschen auf der Erdoberfläche (Anthropogeographie). Von Prof. Dr. N. Krebs. (Bd. 632.)

**Geographie der Vorwelt.** (Paläogeographie.) Von Priv.-Dozent Dr. E. Dacqué. Mit 21 Abbildungen. (Bd. 619.)

**Mensch und Erde.** Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von Geh. Rat Prof. Dr. A. Kirchhoff. 4. Aufl. (Bd. 31.)

**Natur und Mensch.** Von Realgymnasial-Direktor Prof. Dr. M. G. Schmidt. Mit 19 Abbildungen. (Bd. 458.)

**Politische Geographie.** Von Professor Dr. E. Schöne. Mit 7 Karten. (Bd. 353.)

**Die Städte.** Geographisch betrachtet. Von Prof. Dr. K. Hassert. M. 21 Abb. (Bd. 163.)

**Das Meer, seine Erforschung und sein Leben.** Von Professor Dr. O. Janson. 3. Aufl. Mit 40 Abbildungen. (Bd. 30.)

**Das Zeitalter der Entdeckungen.** Von Prof. Dr. S. Günther. 3. Auflage. Mit einer Weltkarte. (Bd. 26.)

**Die Polarforschung.** Geschichte der Entdeckungsreisen zum Nord- und Südpol von den ältesten Zeiten bis zur Gegenw. V. Prof. Dr. K. Hassert. 3. Aufl. M. 6 Kart. (Bd. 38.)

***Vermessungs- und Kartenkunde.** 6 Bände. Jeder Band mit Abbildungen.
I. Bd. Geographische Ortsbestimmung. Von Prof. Schnauder. (Bd. 606.) II. Bd. Erdmessung. Von Prof. Dr. Osw. Eggert. (Bd. 607.) III. Bd. Landmessung. Von Steuerrat Suckow. (Bd. 608.) IV. Bd. Ausgleichungsrechnung. V. Geh. Reg.-Rat Prof. E. Hegemann. (Bd. 609.) V. Bd. Photogrammetrie u. Stereophotogrammetrie. Von Dipl.-Ing. Hermann Lüscher. (Bd. 610.) VI. Bd. Kartenkunde. Von Finanzrat Dr. Ing. A. Egerer. I. Einführung in das Kartenverständnis. II. Kartenherstellung. (Landesaufnahme.) (Bd. 611/612.)

***Geographisches Wörterbuch.** Von Prof. Dr. O. Kende. (Teubners kleine Fachwörterbücher. Geb. ca. M. 3.–.)

## Länderkunden.

**Die deutschen Volksstämme und Landschaften.** Von Prof. Dr. O. Weise. 5., völlig umgearb. Aufl. Mit 30 Abbildungen im Text und auf 20 Tafeln und 1 Dialektkarte Deutschlands. 23.–29. Tausend. (Bd. 16.)

**Belgien.** Von Dr. V. Oßwald. 3. Aufl. Mit 5 Karten im Text. (Bd. 501.)

**Das Ostseegebiet.** V. Prof. Dr. G. Braun. M. 21 Abb. u. 1 mehrfarb. Kart. (Bd. 367.)

**Die Ostmark.** Eine Einführung in die Probleme ihrer Wirtschaftsgeschichte. Von Prof. Dr. W. Mitscherlich. (Bd. 351.)

**Die Baltischen Provinzen.** Von Dr. V. Tornius. Mit 8 Abbildungen u. 2 Kartenskizzen. 3. Auflage. (Bd. 542.)

**Polen.** Mit einem geschichtlichen Überblick über die polnisch-ruthenische Frage. Von Prof. Dr. R. F. Kaindl. 2. verbesserte Auflage. Mit 6 Karten. (Bd. 547.)

***Finnland.** Von Lektor J. Ohquist. (Bd. 700.)

**Rußland.** Geschichte, Staat, Kultur. Von Dr. A. Luther. (Bd. 563.)

***Bulgarien.** Von Privatdozent Dr. H. Grothe. (Bd. 597.)

***Neugriechenland.** Von Prof. Dr. A. Heisenberg. (Bd. 613.)

**Die Türkei.** Von Reg.-Rat P. R. Krause. Mit 2 Karten i. T. u. auf 1 Tafel. 2. Afl. (Bd. 469.)

Die Sammlung

# „Aus Natur und Geisteswelt"

nme … en dem
edan … Tüch-
gen … , Kunst
d Te … mittel-
im … insicht
die

Sie … iete für
den Un … eutigen
method … is, dem
Skizzen … tragen,
nie ent … it dem
Stoffe

Sie … Über-
sicht ü … eistigen
Lebens … immer
stärker … f den
Nachb

In d … swerter
Weise … genheit
benutzer … bt, der
Gefahr

So … als die
Hälfte … rbeitet,
bereits … ht eine
Verbrei

Alles … eignet,
die Freu … Betrag,
den ma … t, auch
für die … ermög-
lichen si … ücherei
zu schaffen, die das für ihn Wertvollste „Aus Natur und Geisteswelt" vereinigt.



Jedes der meist reich illustrierten Bändchen
ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich

Jedes Bändchen geheftet M. 1.20, gebunden M. 1.50
Hierzu Teuerungszuschläge des Verlages und der Buchhandlungen

Leipzig, im Juli 1918. B. G. …

**Jedes Bändchen geheftet M. 1.20, gebunden M. 1.50**

Bisher sind erschienen

# zur Erd- u. Völkerkunde, Geologie, Meteorologie:

## Allgemeine Geographie.

***Allgemeine Erdkunde.** 8 Bände. Jeder Band mit Abbildungen.
I. Bd. Die Erde, ihre Bewegungen und ihre Eigenschaften (mathem. Geographie und Geonomie). Von Admiralitätsrat Prof. Dr. E. Kohlschütter. (Bd. 625.) II. Bd. Die Atmosphäre der Erde (Klimatologie, Meteorologie). Von Prof. O. Baschin. (Bd. 626.) III. Bd. Geomorphologie. Von Prof. F. Machatschek. (Bd. 627.) IV. Bd. Physiogeographie des Süßwassers. Von Prof. F. Machatschek. (Bd. 628.) V. Bd. Die Meere. Von Prof. Dr. A. Merz. (Bd. 629.) VI. Bd. Die Verbreitung der Pflanzen. Von Dr. Brockmann-Jerosch. (Bd. 630.) VII. Bd. Die Verbreitung der Tiere. Von Dr. W. Knopfli. (Bd. 631.) VIII. Bd. Die Verbreitung des Menschen auf der Erdoberfläche (Anthropogeographie). Von Prof. Dr. N. Krebs. (Bd. 632.)

**Geographie der Vorwelt.** (Paläogeographie.) Von Priv.-Dozent Dr. E. Dacqué. Mit 21 Abbildungen. (Bd. 619.)

**Mensch und Erde.** Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von Geh. Rat Prof. Dr. A. Kirchhoff. 4. Aufl. (Bd. 31.)

**Natur und Mensch.** Von Realgymnasial-Direktor Prof. Dr. M. G. Schmidt. Mit 19 Abbildungen. (Bd. 458.)

**Politische Geographie.** Von Professor Dr. E. Schöne. Mit 7 Karten. (Bd. 353.)

**Die Städte.** Geographisch betrachtet. Von Prof. Dr. K. Hassert. M. 21 Abb. (Bd. 163.)

**Das Meer, seine Erforschung und sein Leben.** Von Professor Dr. O. Janson. 3. Aufl. Mit 40 Abbildungen. (Bd. 30.)

**Das Zeitalter der Entdeckungen.** Von Prof. Dr. S. Günther. 3. Auflage. Mit einer Weltkarte. (Bd. 26.)

**Die Polarforschung.** Geschichte der Entdeckungsreisen zum Nord- und Südpol von den ältesten Zeiten bis zur Gegenw. V. Prof. Dr. K. Hassert. 3. Aufl. M. 6 Kart. (Bd. 38.)

***Vermessungs- und Kartenkunde.** 6 Bände. Jeder Band mit Abbildungen.
I. Bd. Geographische Ortsbestimmung. Von Prof. Schnauder. (Bd. 606.) II. Bd. Erdmessung. Von Prof. Dr. Osw. Eggert. (Bd. 607.) III. Bd. Landmessung. Von Steuerrat Suckow. (Bd. 608.) IV. Bd. Ausgleichungsrechnung. V. Geh. Reg.-Rat Prof. E. Hegemann. (Bd. 609.) V. Bd. Photogrammetrie u. Stereophotogrammetrie. Von Dipl.-Ing. Hermann Lüscher. (Bd. 610.) VI. Bd. Kartenkunde. Von Finanzrat Dr. Ing. A. Egerer. I. Einführung in das Kartenverständnis. II. Kartenherstellung. (Landesaufnahme.) (Bd. 611/612.)

***Geographisches Wörterbuch.** Von Prof. Dr. O. Kende. (Teubners kleine Fachwörterbücher. Geb. ca. M. 3.–.)

## Länderkunden.

**Die deutschen Volksstämme und Landschaften.** Von Prof. Dr. O. Weise. 5., völlig umgearb. Aufl. Mit 30 Abbildungen im Text und auf 20 Tafeln und 1 Dialektkarte Deutschlands. 23.–29. Tausend. (Bd. 16.)

**Belgien.** Von Dr. P. Oßwald. 3. Aufl. Mit 5 Karten im Text. (Bd. 501.)

**Das Ostseegebiet.** V. Prof. Dr. G. Braun. M. 21 Abb. u. 1 mehrfarb. Kart. (Bd. 367.)

**Die Ostmark.** Eine Einführung in die Probleme ihrer Wirtschaftsgeschichte. Von Prof. Dr. W. Mitscherlich. (Bd. 351.)

**Die Baltischen Provinzen.** Von Dr. V. Tornius. Mit 8 Abbildungen u. 2 Kartenskizzen. 3. Auflage. (Bd. 542.)

**Polen.** Mit einem geschichtlichen Überblick über die polnisch-ruthenische Frage. Von Prof. Dr. R. F. Kaindl. 2. verbesserte Auflage. Mit 6 Karten. (Bd. 547.)

***Finnland.** Von Lektor J. Ohquist. (Bd. 700.)

**Rußland.** Geschichte, Staat, Kultur. Von Dr. A. Luther. (Bd. 563.)

***Bulgarien.** Von Privatdozent Dr. H. Grothe. (Bd. 597.)

***Neugriechenland.** Von Prof. Dr. A. Heisenberg. (Bd. 613.)

**Die Türkei.** Von Reg.-Rat P. R. Krause. Mit 2 Karten i. T. u. auf 1 Tafel. 2. Afl. (Bd. 469.)

## Länderkunden.

**Palästina und seine Geschichte.** Von Dr. Freiherr v. Soden. 3. Aufl. Mit 2 Karten, 1 Plan und 6 Ansichten. (Bd. 6.)

**Palästina und seine Kultur in fünf Jahrtausenden.** Nach den neuesten Ausgrabungen und Forschungen dargestellt von Prof. Dr. P. Thomsen. 2. Aufl. Mit 37 Abbildungen. (Bd. 260.)

***Böhmen.** Von Prof. Dr. R. F. Kaindl. (Bd. 701.)

**Die Alpen.** Von H. Reishauer. 2. Auflage, neubearbeitet von Dr. H. Slanar. Mit 26 Abbildungen und 2 Karten. (Bd. 276.)

**Die Schweiz.** Land, Volk, Staat und Wirtschaft. Von Reg.- u. Stände-Rat Prof. Dr. O. Wettstein. Mit 1 Karte. (Bd. 482.)

**Island, das Land und das Volk.** V. Prof. Dr. P. Herrmann. Mit 9 Abb. (Bd. 491.)

**Indien.** Von Professor Dr. S. Konow. (Bd. 614.)

**Australien und Neuseeland.** Land, Leute u. Wirtschaft. Von Prof. Dr. R. Schachner. Mit 23 Abbildungen. (Bd. 366.)

**Die Amerikaner.** Von N. M. Butler. Deutsch v. Prof. Dr. W. Paszkowski. (Bd. 319.)

## Anthropologie und Ethnologie.

**Entwicklungsgeschichte des Menschen.** V. Dr. A. Heilborn. M. 60 Abb. (Bd. 388.)

**Der Mensch der Urzeit.** Vier Vorlesungen aus der Entwicklungsgeschichte des Menschengeschlechts. Von Dr. A. Heilborn. 3. Aufl. Mit 47 Abbildungen. (Bd. 62.)

**Die Eiszeit und der vorgeschichtliche Mensch.** Von Geh. Bergrat Prof. Dr. G. Steinmann. 2. Aufl. Mit 24 Abbildungen. (Bd. 302.)

**Allgemeine Völkerkunde.** 3 Bände.
I. Feuer, Nahrungserwerb, Wohnung, Schmuck und Kleidung. Von Dr. A. Heilborn. Mit 54 Abb. II. Waffen und Werkzeuge, Industrie, Handel und Geld, Verkehrsmittel. Von Dr. A. Heilborn. Mit 51 Abb. III. Die geistige Kultur der Naturvölker. Von Prof. Dr. K. Th. Preuß. Mit 9 Abbildungen. (Bd. 487–488, 452.)

***Vorgeschichte Europas.** Von Professor Dr. H. Schmidt. (Bd. 571–572.)

## Geologie.

**Allgemeine Geologie.** Von Geh. Bergrat Prof. Dr. Fr. Frech. 6 Bde. (Bd. 207/11, 61.)
I. Vulkane einst und jetzt. 3. Aufl. Mit Titelbild und 78 Abb. II. Gebirgsbau und Erdbeben. 3., wesentlich erweit. Aufl. Mit Titelbild und 57 Abb. III. Die Arbeit des fließenden Wassers. 3. Aufl. Mit 56 Abb. IV. Die Bodenbildung, Mittelgebirgsformen und Arbeit des Ozeans. 3., wesentlich erweit. Aufl. Mit 1 Titelbild und 68 Abb. V. Steinkohle, Wüsten und Klima der Vorzeit. 2. Aufl. Mit Titelbild und 49 Abb. VI. Gletscher einst und jetzt. 2. Aufl. Mit Titelbild und 65 Abb.

**Die deutschen Salzlagerstätten.** Ihr Vorkommen, ihre Entstehung und die Verwertung ihrer Produkte in Industr. u. Landwirtsch. V. Dr. C. Riemann. Mit 27 Abb. (Bd. 407.)

**Unsere Kohlen.** Von Bergassessor P. Kukuk. Mit 60 Abb. i. T. u. 3 Tafeln. (Bd. 396.)

**Entstehung der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft.** Von Prof. Dr. M. B. Weinstein. 2. Aufl. (Bd. 223.)

**Untergang der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft.** Von Prof. Dr. M. B. Weinstein. (Bd. 470.)

## Meteorologie.

**Einführung in die Wetterkunde.** Von Prof. Dr. L. Weber. 3. Aufl. von „Wind und Wetter". Mit 28 Figuren im Text und 3 Tafeln. (Bd. 55.)

**Unser Wetter.** Eine Einführung in die Klimatologie Deutschlands an der Hand von Wetterkarten. Von Dr. R. Hennig. 2. Aufl. 6.–10. Tausend. Mit zahlr. Abb. (Bd. 349.)

Die mit * bezeichneten und weitere Bände befinden sich in Vorbereitung.

# Aus Natur und Geisteswelt
Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

628. Bändchen


## Allgemeine Geographie IV:

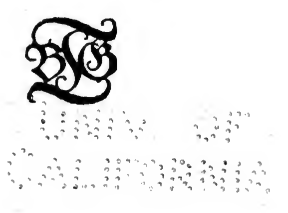
# Physiogeographie des Süßwassers

Von


Dr. Fritz Machatschek

o. ö. Professor der Geographie an der deutschen Universität in Prag


Mit 24 Abbildungen im Text




Verlag und Druck von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1919

# Inhaltsverzeichnis.

# Allgemeine Vorbemerkungen.

Aus dem umfangreichen Gebiet der allgemeinen Hydrographie als der Lehre von der Verbreitung, den Eigenschaften und Bewegungsverhältnissen und der Wirksamkeit des Wassers entnimmt die Physiogeographie alle jene Tatsachen und Erkenntnisse, die sich auf das Wasser als einen Teil der Erdoberfläche beziehen. Sie stützt sich dabei auf die Hydrologie, die sich wesentlich mit den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Wassers beschäftigt, und auf die Hydrodynamik und Hydraulik, die die Gesetze strömender Flüssigkeiten, namentlich auch in ihrer Bedeutung für technische Zwecke, für den Wasserbau oder die Hydrotechnik, zum Gegenstand ihrer Untersuchungen machen. Andererseits berührt sich die Hydrographie enge mit der Klimatologie und der Geomorphologie, aber auch mit der Geologie, insoweit das Vorkommen des Wassers von der Beschaffenheit der Gesteine und dem innern Bau der oberflächlichen Schichten der Erdkruste abhängt. Endlich ist die Würdigung der Welt des Wassers in ihren Beziehungen zur Verbreitung, Geschichte und Wirtschaft des Menschen ein Zweig der Anthropogeographie. Indem nun das Wasser entweder unter der Erdoberfläche als Grund- oder Quellwasser, in festen Rinnen als Fluß oder Bach, in stehenden Ansammlungen in Vertiefungen der Landoberfläche als Seen, Sümpfe und Moore, in fester Form als Eis, endlich in den Meeren auftritt, ergeben sich für die geographische Betrachtung folgende Zweige der allgemeinen Hydrographie: Grundwasser- und Quellenkunde (subterrane Hydrographie), Flußkunde (Potamologie), Seenkunde (Limnologie), Glaziologie, in deren Rahmen die Gletscherkunde die größte Bedeutung besitzt, endlich die Meereskunde oder Ozeanographie, die bereits zu einem selbständigen Zweig der Physiogeographie sich entwickelt hat und die wir von den folgenden Betrachtungen ausschließen.

Einige allgemeine Eigenschaften des Wassers. Chemisch reines Wasser besteht dem Gewicht nach aus 88,9 % Sauerstoff und

11,1 % Wasserstoff oder 2 Atomen Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff, die sich zu 2 Volumteilen Wassergas vereinigen. Reines Wasser ist durchsichtig, geschmack- und geruchlos und zeigt in etwa 2 m mächtiger Schicht die *blaue Eigenfarbe*. Es hat bei + 4° C seine größte *Dichte*, wobei 1 cdm (= 1 l) 1 kg wiegt. Es ist nahezu gar nicht zusammendrückbar und hat eine hohe *Wärmekapazität*, die mit der Temperatur zunimmt. An der Luft verdunstet es und zwar um so lebhafter, je höher seine Temperatur und je geringer der Luftdruck, je größer die Bewegung der Luft und je geringer ihr Wasserdampfgehalt ist. Die *Gefriertemperatur* beträgt 0° und nimmt mit zunehmendem Druck ab. Die *Siedetemperatur* des Wassers ist bei gewöhnlichem Atmosphärendruck + 100 C und steigt und fällt mit der Größe des Druckes. Bei einem Luftdruck von 6 mm siedet das Wasser bei jener Temperatur, bei der die Spannkraft des Wasserdampfes gleichfalls 6 mm beträgt. Auch hängt die Siedetemperatur von der Art und Menge der im Wasser gelösten Substanzen ab. Wasser hat ein hohes *Lösungsvermögen*, das mit seiner Temperatur zunimmt, mit zunehmendem Druck abnimmt, aber für die einzelnen Stoffe sehr verschieden ist. Dieses Vermögen wird durch den in der Natur nie fehlenden Kohlensäuregehalt des Wassers, aber auch durch Zusatz mancher Salze sehr verstärkt und ist für Karbonate, namentlich Kalzium- und Magnesiumkarbonat, aber auch für schwefelsauren Kalk und die meisten anderen Salze sehr bedeutend, wesentlich geringer für die Silikate. Die sog. *Härte* des Wassers wird bestimmt durch seinen Kalk- und Magnesiagehalt, und zwar entspricht einem deutschen Härtegrad 1 Teil CaO und die äquivalente Menge MgO auf 100 000 Teile Wasser (10 mg auf 1 l). Dabei wird der MgO-Gehalt in Kalk umgerechnet durch Multiplikation mit 1,4; ergibt z. B. die Analyse in 1 l Wasser: 96 mg Kalk und 30 mg Magnesia, so hat das Wasser 96 + (30 × 1,4) = 13,8 Härtegrade. Wasser mit über 15 Härtegraden heißt *hart* und ist für die meisten gewerblichen Zwecke, mit mehr als 18° auch als Trinkwasser nicht mehr geeignet; bei unter 15 Härtegraden spricht man von *weichem* Wasser. Ferner enthält das in der Natur vorkommende Wasser zumeist auch entweder *gelöst* Ammoniak, Schwefel- und Salpetersäure, verschiedene Salze, namentlich Eisen- und Chlorverbindungen, und Kohlensäure, und zwar diese entweder frei oder in den Karbonaten und Bikarbonaten gebunden, oder *suspendierte* Bestandteile, die oft erst mikroskopisch erkannt werden können.

# I. Grundwasserkunde.

## 1. Begriff und Herkunft des Grundwassers.

Unter Grundwasser verstehen wir mit *Keilhack* alles unter der Erdoberfläche befindliche flüssige Wasser, gleichgültig ob es in den oberflächlichen lockeren Bodenarten oder in Klüften festen Gesteins anzutreffen ist. Eine Unterscheidung der Wasseransammlungen in den lockeren Bodenarten von dem sog. *Kluft*- oder

Felswasser ist in der Regel ebenso schwer durchführbar wie eine Trennung des nach der Tiefe eindringenden Sickerwassers von dem zusammenhängende Ansammlungen bildenden eigentlichen Grundwasser; denn es kann Kluftwasser in gleichem Niveau aus festem Gestein in lockeres Trümmergestein übertreten.

Die Oberfläche des Wassers unter der Erdoberfläche bildet den Grundwasserspiegel, die das Wasser, sei es in den Zwischenräumen des lockeren Bodens oder in den Klüften festen Gesteins führende Schicht heißt Grundwasserträger, eine mit Wasser erfüllte Schicht, aus der durch Brunnen oder Bohrung Wasser erschlossen werden kann, Grundwasserhorizont, die darunter befindliche Schicht, die die Bewegung des Wassers nach unten oder nach der Tiefe hemmt, Grundwasserstauer, die Linie, die die jeweils höchsten Punkte des Grundwasserspiegels verbindet, Grundwasserscheide. Treten mehrere, durch wasserfreie Schichten getrennte Grundwasserhorizonte übereinander auf, so nennt man diese Grundwasserstockwerke.

Eine Abgabe von Grundwasser findet statt an seinen natürlichen Austrittsstellen oder Quellen, ferner durch unmittelbaren Austritt in offene Gerinne und Vereinigung mit dem Flußwasser; nicht unerheblich ist der Verbrauch durch die Vegetation, indem die Wurzeln das Grundwasser erreichen oder kapillar zu sich hinaufziehen und das Wasser zum Aufbau der pflanzlichen Organe verwendet wird, aber zumeist durch Verdunstung wieder in die Atmosphäre zurückkehrt. Gering sind die Verluste durch Verdunstung aus den oberflächlichen Bodenschichten oder durch die chemischen Prozesse der Gesteinsumwandlung. Endlich kommt die künstliche Entnahme von Grundwasser für verschiedene Zwecke der menschlichen Wirtschaft oder bei andern Eingriffen in den Grundwasservorrat, wie beim Bergbau oder bei Entwässerungsanlagen, in Betracht.

Abgesehen von dem bei der fortschreitenden Entgasung des Erdkörpers an die Oberfläche kommenden sog. juvenilen Wasser kann die Ernährung des Grundwassers entweder durch die Kondensation von Wasserdampf aus der in den oberflächlichen Schichten enthaltenen sog. Grundluft oder durch Versickerung der atmosphärischen Niederschläge in den Boden erfolgen. Diese Anschauung, die sog. Infiltrationstheorie, treffen wir schon

im Altertum, und sie war auch durch genaue Beobachtungen von **Mariotte** über den Zusammenhang von Quellen mit den Niederschlägen bereits längst zu allgemeiner Anerkennung gelangt, als **O. Volger** 1877 zu der früheren Auffassung mit seiner **Kondensationshypothese** zurückkehrte, wonach das Grundwasser fast ausschließlich durch Kondensation von Wasserdampf aus der unterirdischen Atmosphäre entstehe.

Nun sind zweifellos Versickerung, Verdunstung und Abfluß, in welche Größen sich der Niederschlag spaltet, sehr variable Größen und von den Verhältnissen des Klimas, der Vegetationsdecke, der Gesteins- und Bodenbeschaffenheit so abhängig, daß ein festes Verhältnis zwischen ihnen nicht bestehen kann. Es bleibt unter Umständen nur ein relativ kleiner Teil des Niederschlags, vielleicht durchschnittlich nur $^1/_5$, für die Versickerung übrig. Da andererseits Luft auch die Gesteinsporen erfüllt, so muß gewiß auch Kondensation im Boden eintreten, namentlich dann, wenn wärmere und wasserdampfreichere Luft die kälteren Bodenschichten durchdringt, also bei Nebelbildung. Aber gegen eine vorwiegende Bedeutung der Kondensation für die Ernährung des Grundwassers spricht sowohl die unmittelbare Beobachtung versickernden Wassers in porösen Bodenarten und klüftigem Gestein, als auch der häufig zu beobachtende Parallelismus in den Schwankungen der Niederschläge, der Höhe des Grundwassers und des Ertrags von Quellen. Allerdings gibt es auch Fälle, wo in Zeiten trüben und feuchten, aber eigentlich niederschlagslosen Wetters ein Ansteigen des Grundwassers beobachtet wurde. Auch die Tatsache, daß die Abflußmengen bisweilen größer sind als die Niederschläge, wurde durch einen nicht unbedeutenden Anteil der Kondensation aus der Grundluft an der Entstehung des Grundwassers erklärt, ebenso das Fließen von Quellen in langen Trockenzeiten und die Armut mancher Grundwässer an pathogenen Keimen; doch können für alle diese Erscheinungen noch andere Ursachen viel maßgebender sein. Wenn daher auch Kondensation in der Grundluft vorkommt, so ist doch gewiß der Anteil der Versickerung an der Entstehung des Grundwassers der weitaus bedeutendere.

Die **Größe der Infiltration** ist von einer ganzen Reihe von Faktoren abhängig. Unter den klimatischen Elementen kommt nicht nur die absolute Regenmenge, sondern auch die Regendichte

und Regenergiebigkeit und der Anteil des Schnees in Betracht, da bei heftigen Güssen durch die stauende Wirkung des Sickerwassers selbst und der Grundluft die Versickerung herabgesetzt, bei langsamem Abschmelzen einer mächtigen Schneedecke verzögert wird. Tau, Nebel und Bewölkung verringern die Verdunstung und erhöhen den Anteil der Versickerung. Gefrorener Boden verhindert sie fast völlig. Ein größeres Gefälle des Bodens beschleunigt den offenen Abfluß und setzt die Sickerwassermenge herab; umgekehrt wirkt große Reibung und Adhäsion des Wassers am Boden. Von großer Wichtigkeit ist die Art der Vegetationsbedeckung.[1]) Wiesen und Felder wirken auf den Abfluß verzögernd und begünstigen die Versickerung. Der Wald beeinflußt die Versickerung dadurch, daß er viel Wasser in den Baumkronen zurückhält, wobei die Menge dieses Wassers sowohl von der Regendichte als vom Alter und der Zusammensetzung des Waldes abhängt. Durch die Streudecke und Beschattung wirkt er ferner auf die Verdunstung herabsetzend; da aber die Baumwurzeln einen großen Teil des Grundwassers absorbieren, steht dieses zum mindesten im waldbedeckten Flachland tiefer als im benachbarten Freiland. Im allgemeinen wirkt die Bedeckung des Bodens mit lebenden Pflanzen auf die Sickerwassermengen stark herabsetzend; kahler Boden liefert stets mehr Sickerwasser als vegetationsbedeckter, Grasboden mehr als Waldboden.

Von maßgebenderer Bedeutung für die Versickerung aber ist die Bodenart, nämlich ihre Wasserkapazität und Wasserleitungsfähigkeit. Sowohl die Sickerwassermenge als die Geschwindigkeit der Versickerung steigt mit der Größe des Durchmessers der Bodenteilchen und der Zahl der nicht-kapillaren Hohlräume; daher setzen tonige und humose Bestandteile im Sandboden die Versickerung herab, Beimischung von Sand zu Ton oder Humuserde erhöhen sie. Mit Keilhack lassen sich alle Gesteine bezüglich ihrer Wasserdurchlässigkeit oder Permeabilität in folgende Gruppen gliedern: Die erste Gruppe, zu der alle kristallinischen Gesteine der verschiedensten Art gehören, vermag Wasser nur in kapillarer Form als sog. Bergfeuchtigkeit aufzunehmen; sie sind also fast undurchlässig und sehr wenig wasseraufnahmsfähig. Eine zweite Gruppe vermag zwar Wasser in großen

1) Wollny, Forsch. z. Agrikulturphysik XII. 1889; Ebermayer, Einfluß der Wälder usw. 1900; Schubert, Met. Zeitschr. 1917, 145.

Mengen aufzunehmen, aber nicht es weiterzuleiten, so daß sie über ein gewisses Wasserquantum hinaus sich völlig undurchlässig verhalten; dahin gehören alle Tone und Mergel, wobei die Wasserkapazität mit zunehmender Korngröße abnimmt, aber auch Torf und Braunkohle. Die Gesteine der dritten Gruppe schlucken zwar Wasser begierig auf, lassen aber neu hinzukommende Wassermengen nur langsam nach der Tiefe entweichen; dahin gehört die Schreibkreide, der Löß, oolithische Kalke und viele Dolomite. Die vierte Gruppe wird von allen klastischen Gesteinen gebildet: Sanden und Sandsteinen, Konglomeraten, Breccien und Schutt, die Wasser sowohl leicht aufnehmen als auch weiterleiten können, sobald die Korngröße nicht zu klein ist. Sehr feine Sande verhalten sich aber, sobald sie mit Wasser gesättigt sind, fast ebenso undurchlässig wie Tone; auch Sandsteine können fast undurchlässig sein.

Bei sehr feinkörnigen Bodenarten wirkt der Versickerung die Kapillarität entgegen, indem das Wasser in den feinen Kanälen zwischen den Körnern aufzusteigen vermag. Ihre obere Grenze liegt bei einem Durchmesser der Körner von etwa 5 mm. In mittelfeinen Tonen kann das kapillare Aufsteigen bis 0,4 m, in humosen Tonen bis über 2 m betragen.

Die Wasseraufnahmsfähigkeit der Gesteine ist also von der Größe der im Gestein befindlichen Hohlräume oder Poren, der sog. Porosität abhängig; das Porenvolumen beträgt z. B. bei Massengesteinen 0,25—0,85, bei dichten Kalksteinen 0,67—2,55, bei Sanden 30—42, bei Tonen bis 50% des Gesamtvolumens. Bei festen Gesteinen ist aber für die Wasseraufnahme und Wasserleitungsfähigkeit die Klüftigkeit oft von viel größerer Bedeutung als die Porosität. So ist fester Kalkstein zwar wenig porös, aber wegen der meist vorhandenen zahlreichen Klüfte doch sehr wasserdurchlässig. Außerdem kommt der Grad der Zersetzung des Gesteines, bei klastischen Gesteinen die Beschaffenheit ihres Zementes, endlich die Lagerungsverhältnisse der Gesteinsschichten in Betracht. Die einfache Angabe des Gesteins genügt also für die Beurteilung seiner Durchlässigkeit keineswegs.

## 2. Das Grundwasser in lockeren Bodenarten.

Sobald das Wasser, der Schwere folgend und unter Verdrängung der Luft in fein verzweigten Röhrchen von der Oberfläche in eine durchlässige Bodenart einsickernd, auf eine undurchlässige, das Wasser nicht weiter leitende Schicht stößt, endet die Vertikalbewegung. Es wird sich auf dieser Schicht sammeln, bei weiterer Wasserzufuhr aber auch in der darüber befindlichen durchlässigen Schicht steigen und ihre Poren erfüllen. Es bildet sich eine unterirdische zusammenhängende Wasseransammlung innerhalb der Hohlräume des Bodens; sind die undurchlässigen Schichten horizontal oder muldenförmig gelagert, so nimmt die Höhe des Grundwassers mit den Niederschlägen bis zu einer gewissen Höhe zu und bildet einen Grundwassersee; sind sie geneigt, so erhält das Grundwasser eine Bewegung in der Richtung des größten Gefälles, es entsteht ein Grundwasserstrom (Abb. 1). Größe und Richtung seines Gefälles lassen sich aus Bohrlöchern oder Brunnenanlagen bestimmen; erstere schwankt in einem größeren Gebiet infolge der selten gleichartigen Beschaffenheit der durchlässigen wasserführenden Oberflächenschicht in recht weiten Grenzen. Sie beträgt z. B. in den Rheinschottern bei Straßburg durchschnittlich 0,6‰, in den diluvialen Schottern des Lechtals oberhalb Augsburg 3‰. Aus dem Gefälle des Grundwassers, der Mächtigkeit des Grundwasserträgers und dem Porenvolumen läßt sich dann die in einem bestimmten Gebiet überhaupt vorhandene Wassermenge berechnen, während zur Bestimmung der ein gegebenes Profil in der Zeiteinheit durchfließenden Wassermenge noch die Kenntnis der von der Korngröße abhängigen und experimentell zu bestimmenden Größe der Reibung erforderlich ist. Ist $k$ dieser Reibungskoeffizient (in sandfreiem Kies von etwa 5 cm Durchmesser ... 0,05, in grobem Sand von 2 mm Durchmesser ... 0,002), $\alpha$ das Gefälle, $f$ der für die Wasserbewegung freie Querschnitt zwischen den einzelnen Körnern, so ist $v = k.\alpha$ die Geschwindigkeit der Grundwasserbe-

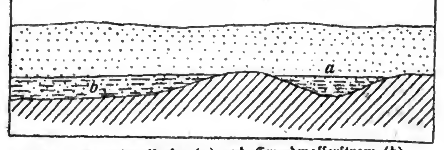


Abb. 1. Grundwassersee (*a*) und Grundwasserstrom (*b*).

wegung und die den gegebenen Querschnitt passierende Wassermenge: $Q = k \cdot \alpha \cdot f$.[2])

Die Schwankungen des Grundwassers. Die Höhe des Grundwasserspiegels ist Schwankungen von verschiedener Ursache unterworfen. An der Küste schwankt er mit Ebbe und Flut, wie dies in den holländischen Poldern nachgewiesen ist. Von King und Martini wurde in Brunnen ein Zusammenhang mit kurzen, plötzlich auftretenden Luftdruckschwankungen aufgedeckt, während die großen Oszillationen des Barometers sich viel weniger bemerkbar machen. Viel wichtiger aber sind die in entgegengesetztem Sinne, aber mit derselben Jahresperiode wirkenden Einflüsse von Niederschlag und Verdunstung, worüber J. Soyka eingehende Untersuchungen angestellt hat.[3]) Dabei dient als Maß der Verdunstung das Sättigungsdefizit, d. i. die Differenz zwischen dem bei einer bestimmten Temperatur überhaupt möglichen Maximum des Dampfgehaltes und dem tatsächlich vorhandenen. Langjährige Beobachtungen lassen zwei verschiedene Typen im jährlichen Gang des Grundwasserstandes erkennen. In München wie überhaupt in allen Orten mit größeren Niederschlägen wird die Jahresschwankung des Grundwassers durch den Niederschlag bestimmt. Der höchste Stand fällt daher in den Hochsommer trotz großer Verdunstung; der tiefste Stand aber schon in den November, also drei Monate früher als das Niederschlagsminimum. Im Winter ist eben die Verdunstung so gering, daß sie dem Boden nicht viel Regenwasser mehr vorenthalten kann; daher beginnt das Grundwasser bereits zu steigen, wenn die Niederschläge noch abnehmen. In Berlin hingegen und in anderen Orten mit geringen Niederschlägen tritt die ohnedies schwach ausgeprägte Jahresperiode des Niederschlags in ihrer Wirkung auf die Grundwasserkurve fast zurück und es folgt dem sommerlichen Verdunstungsmaximum das Minimum des Grundwasserstandes, dem winterlichen Verdunstungsminimum das Grundwassermaximum mit etwa dreimonatlicher Verspätung nach. — Auch in vieljährigen Perioden zeigt

2) Die Geschwindigkeit der Grundwasserbewegung beträgt nach Spöttles Zusammenstellungen einige Meter im Tag; doch kommen bei größerem Gefälle und größerer Durchlässigkeit auch Geschwindigkeiten von etwa 100 m und mehr im Tag vor.

3) Geogr. Abh. II. 3. 1888.

sich die Abhängigkeit des Grundwassers von den Schwankungen von Niederschlag und Verdunstung, die nun zusammenwirken, da warme und trockene, kühle und feuchte Jahre zusammenfallen. Daher fällt das Maximum des Grundwasserstandes in die feucht-kühle, das Maximum in die trocken-warme Periode.

Nach der Temperatur sind kalte und warme Grundwässer zu unterscheiden, je nachdem sie über oder unter dem Jahresmittel der betreffenden Lufttemperatur liegt. Gleichmäßige hohe Wärme des Grundwassers beweist, daß es sich unter der sog. indifferenten Schicht bewegt, wo es den Einflüssen der Jahreszeiten nicht mehr ausgesetzt ist. Die selten vorkommenden gleichmäßigen Temperaturen unter dem Jahresmittel der Lufttemperatur weisen auf die Herkunft des Wassers aus größeren Höhen hin.

Die chemischen Eigenschaften des Grundwassers sind durch die Aufnahme teils gasiger, teils fester Substanzen in Lösung beim Durchsickern des Bodens bestimmt, wobei das Wasser viel Kohlensäure aus der Grundluft aufnimmt und dadurch, namentlich unter höherem Druck seine Lösungsfähigkeit steigert. Daher ist das aus größeren Tiefen stammende Grundwasser meist reicher an gelösten Substanzen, namentlich an Karbonaten von Alkalien, Eisen- und Chlorverbindungen, Ammonium, Stickstoff und Kohlenstoff, aber ärmer an Sauerstoff als das der oberen Schichten. Der Gehalt an pathogenen Keimen ist meist nicht groß; doch besteht ein unzweifelhafter Einfluß verunreinigten Grundwassers auf die Verbreitung von Epidemien und namentlich ist tiefer Grundwasserstand hierfür gefährlich, wie Pettenkofer in vielen Fällen gezeigt hat. Bei richtiger Entnahme aber bildet Grundwasser an sich noch keine Ansteckungsgefahr.

Die Beziehungen des Grundwassers zu oberirdischen Wasserläufen sind zumeist dadurch geregelt, daß das Gefälle des Grundwasserstromes ziemlich genau mit dem des Talbodens übereinstimmt. Sobald daher der Fluß nicht in seiner ganzen Länge in wasserundurchlässigen Boden eingetieft ist, ergießt sich bei Mittelwasser ein Teil des Grundwassers in den Fluß. Bei Hochwasser des Flusses ohne gleichzeitiges Ansteigen des Grundwassers tritt umgekehrt Flußwasser in das Grundwasser über, oder es wird dieses gestaut und es bewegt sich eine Grundwasserwelle landeinwärts. Ein Zuströmen von Grundwasser zum Fluß-

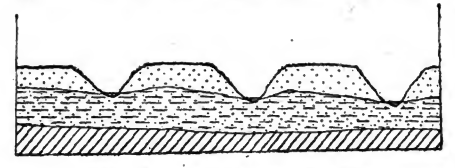


Abb. 2. Grundwasserscheiden zwischen Tälern.

wasser wird aber auch verhindert, sobald der Fluß durch Aufschüttung sein Bett bis über das Niveau der Umgebung erhöht hat und zwischen künstlichen Dämmen fließt (Po, Unterrhein). Auch eine völlige Abdichtung des Flußbettes durch Schlamm kann das Abströmen von Fluß- ins Grundwasser bei steigendem Flußwasserstand hindern; doch kann umgekehrt wie bei einem Ventil auch dann höher stehendes Grundwasser in den Fluß übertreten. Liegt also der Grundwasserstand erst unter der Sohle tief eingeschnittener Täler, so bildet der Grundwasserspiegel bei normalem Wasserstand eine nach den Flüssen hin sehr schwach, ungefähr parabolisch gekrümmte Oberfläche mit sehr flachen Grundwasserscheiden, die stets an den höher gelegenen Taleinschnitt herangerückt sind (Abb. 2). In diesen Fällen, wo das Flußbett innerhalb der wasserführenden Schicht eingeschnitten ist, macht das Grundwasser auch die Schwankungen des Flußstandes mit einer durch die Reibung und die Entfernung vom Fluß bestimmten Verzögerung mit, bis dann in größerer Entfernung die Einwirkung des Flusses überhaupt aufhört.

Dort aber, wo der Fluß so tief in die undurchlässige Unterlage des Grundwasserträgers eingeschnitten ist, daß das austretende Grundwasser den Fluß gar nicht erreichen kann, sind die Schwankungen des Flußwasserstandes für das Niveau des Grundwassers ohne Bedeutung und es besteht völlige Unabhängigkeit zwischen den Schwankungen des Grundwassers und des Flusses. Das ist der Fall an der Isar bei München, die tief in den tertiären undurchlässigen Flinz eingeschnitten ist, während der Abfluß des Grundwassers aus den diluvialen Schottern hoch darüber erfolgt.

Im ersteren Falle ergeben sich in der Nähe eines Flusses noch Unterschiede der Grundwasserschwankung dadurch, ob die Schwankungen des Flusses von denselben meteorologischen Faktoren bestimmt werden wie die des Grundwassers oder nicht. Ersteres ist bei den meisten Flüssen der Ebene, wie Weser, Ems und Spree der Fall. Es herrscht die größte Übereinstimmung zwischen Grund-



Abb. 3. Grundwasser in Dünen.

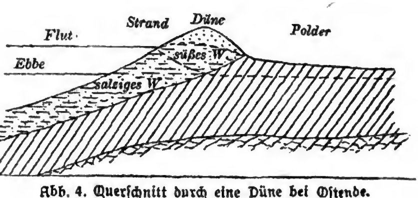



Abb. 4. Querschnitt durch eine Düne bei Ostende.
(Nach Verstraeten.)

wasser- und Flußstand; bei Normalwasser geschieht Abfluß des Grundwassers zum Fluß, bei Hochwasser Stauung des Grundwassers durch den Fluß. Bei den Flüssen aus dem Gebirge aber, deren Hochwasser durch die Schneeschmelze im Hochgebirge bestimmt ist, wie bei der Donau bei Wien, erfolgt z. B. im Hochsommer ein gleichzeitiges Ansteigen der benachbarten Brunnen, worauf im Fluß- und Grundwasser ein rasches Absinken bis zum November eintritt, während das Niederschlagsminimum erst in den Januar fällt.

Endlich geschieht eine regelmäßige Speisung des Grundwassers durch die Flüsse in den nahezu regenlosen Sand- und den lockeren regenarmen Steppenböden, wo die Verdunstung größer ist als der Niederschlag. Die Flüsse solcher Gegenden nehmen dadurch an Wasserfülle regelmäßig nach abwärts ab.

Während in den meisten Fällen der Grundwasserspiegel eine mehr oder weniger vollkommene Ebene oder sehr schwach gekrümmte Flächen bildet, wiederholt er bei welligem Boden die Formen desselben in abgeschwächtem Maße. Das ist namentlich in Dünen der Fall, deren sehr feinkörniges Material die Reibung des Wassers im Boden vermehrt und eine Ausgleichung des Grundwasserspiegels zu einer Ebene verhindert (Abb. 3). In den Nordseedünen bildet das süße Grundwasser einen Sack, der auf dem von der See eingedrungenen schwereren Salzwasser schwimmt und seewärts abfließt (Abb. 4). Bei steigender Flut wird der Grundwasserspiegel in der Düne gehoben. Bei Ebbe sinkt er. Daher liegt der Spiegel des salzigen Grundwassers auf der Strandseite höher als auf der Polderseite und hat eine konkave Oberfläche. Bei gesteigerter Entnahme von Trinkwasser aus den Dünen der

friesischen Inseln aber wurde dieses allmählich ungenießbar, da durch Abnahme des Druckes die Diffusionszone zwischen Salz- und Süßwasser nach oben bis in das Bereich der Pumpen gerückt war. Es mußten daher die Brunnen landeinwärts verlegt werden.

Komplikationen der Grundwasserverhältnisse ergeben sich ferner bei mehrmaliger Wechsellagerung permeabler und impermeabler Bodenarten, je nachdem die Schichten horizontal oder geneigt sind, durchstreichen oder sich auskeilen, wobei dann wasserführende Nester von Kies oder Sand inmitten wasserfreier Schichten auftreten. Das Anfahren und die Entleerung derartiger Schwimmsandlager hat die verheerende Einbruchkatastrophe im Braunkohlengebiet von Brüx (1892) verschuldet.

### 3. Das Grundwasser in festem Gestein.

In festen und an sich undurchlässigen Gesteinen ist die Wasserbewegung abhängig und beschränkt durch die verschiedenartige und sehr wechselvolle Zerklüftung. Es ist daher ein sicherer Schluß auf die Wasserführung zumeist nicht möglich, zumal die Klüfte durch den Gebirgsdruck nahezu geschlossen oder durch chemische Ausscheidungen oder mechanische Einschwemmungen toniger Substanzen ausgefüllt sein können. Ungestört lagernde Sedimente sind gewöhnlich nur in den oberen Schichten zerklüftet, stark gestörte Schichtkomplexe aber sind bis zu großen Tiefen von Spalten durchsetzt und noch wasserführend. Immer aber sind die Verhältnisse auf kurze Entfernungen sehr wechselnd und ein einheitlicher Grundwasserspiegel namentlich in Massengesteinen sehr selten. Die Bewegungsgeschwindigkeit solchen Kluftwassers ist natürlich infolge der geringeren Reibung wesentlich größer als in lockerem Boden. Die Bewegung des Grundwassers in solchen Gesteinen vollzieht sich nach D'Andrimont[4]) in drei Zonen, einer obersten aktiven Zone im allgemeinen nach abwärts wie in einem Röhrensystem, einer mittleren passiven, teils abwärts, teils aufwärts, aber bedingt durch die Bewegung in der oberen Zone; in der untersten neutralen Zone ruht das Grundwasser entweder völlig oder hat eine von der oberen unabhängige Bewegung (Abb. 5).

Besondere Grundwasserverhältnisse sind in den zwar an sich

4) Bull. Soc. Géol. Belgique XXXII.

durchlässigen, aber stark klüftigen und zugleich löslichen Gesteinen, im Kalkstein und in einigen Dolomiten zu erwarten, die die sog. *Karstgebiete* zusammen-

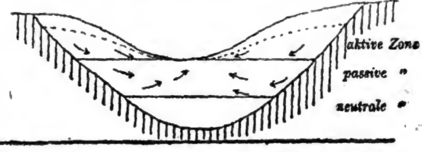



Abb. 5. Kluftwasserbezirke. (Nach D'Andrimont.)

setzen. Nach der bis vor kurzem allein herrschenden Theorie der *Karstgerinne* bewegt sich das Wasser im Karst in einem Netz von Spalten, Röhren und Höhlen nach dem Gesetz von kommunizierenden Gefäßen, so daß von einem zusammenhängenden einheitlichen Grundwasserniveau nicht die Rede sein kann; die Versickerung geschieht durch die klaffenden Spalten rasch, aber infolge ihrer verschiedenen Weite und ihrer Verzweigungen ungleichmäßig. Nur im sog. seichten Karst, wo die undurchlässige Unterlage in mäßiger Tiefe liegt und die unterirdischen Gerinne sich nicht in größere Tiefe fortsetzen können, könne es eine zusammenhängende Grundwasseransammlung geben.[5])

Gegen diese Auffassung richtet sich die *Karstwassertheorie* von A. *Grund*.[6]) Er legt bei der Versickerung das Hauptgewicht auf die zahlreichen feinen Klüfte des Kalkes, die den Poren des lockeren Boden entsprechen, und unterscheidet das vertikal in die Tiefe gehende Sickerwasser, das die Klüfte durch Lösung erweitert, von dem über der undurchlässigen Schicht sich ansammelnden und in langsamer, nahezu horizontaler Bewegung zur Quelle hin befindlichen *Karstgrundwasser*, das alle Hohlräume zusammenhängend erfüllt und daher in einem gemeinsamen Niveau, dem Karstwasserspiegel, steht. Es unterscheidet sich von dem Grundwasser in lockerem Boden nur durch die größere Geschwindigkeit und das größere Ausmaß seiner Spiegelschwankungen, eine Folge des wesentlich geringeren Porenvolumens und der Verteilung des Wassers auf relativ weniger Adern, vom Kluftwasser anderer fester Gesteine durch sein einheitliches Spiegelniveau. Im Bereich des Sickerwassers aber ist das Karstgestein mit Ausnahme der eben durchsickernden Tropfen trocken.

5) *Katzer*, Karst und Karsthydrographie, Sarajewo 1909.

6) „Karsthydrographie", Geogr. Abh. VII. 3. 1903, u. Beitr. z. Morph. d. Dinar. Geb., ebda. IX. 1910.

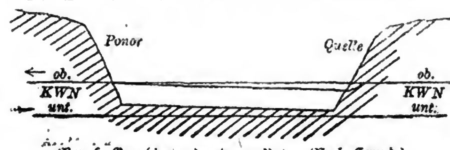



Abb. 6. Querschnitt durch ein Polje. (Nach Grund.)

Die Karstwassertheorie erklärt gut das Auftreten vieler Quellen in gleichem Niveau infolge des Auftretens eines einheitlichen unterirdischen Wasserhorizontes, besonders aber die periodische Inundierung der in die Karstoberfläche eingesenkten abflußlosen Becken, der sog. Poljen, sobald ihr Boden innerhalb der Schwankungen des Karstwasserspiegels gelegen ist (Abb. 6) und die verschiedene Funktion der an den Rändern der Polje auftretenden Löcher oder Ponore als Schlund- oder Speilöcher. Die Größe der Karstwasserschwankung ist sowohl von den jahreszeitlichen Schwankungen des Niederschlags als von dem Ausmaß der Klüftung abhängig. Dieses aber vergrößert sich mit dem morphologischen Alter des Karstes. Je älter er ist, desto ausgebildeter und geräumiger wird das Kluft- und Höhlensystem und um so kleiner die Karstwasserschwankung. Beim Zirknitzer See beträgt sie 28 m, beim Polje von Livno 40 m. Auch das Auftreten von Höhlenflüssen über dem Karstwasserniveau widerspricht nicht dieser Theorie; denn es kann dadurch erklärt werden, daß auch horizontale Klüfte vorkommen, in denen sich die Sickerwasser zu größeren Adern vereinigen, um eine Zeitlang horizontal zu fließen, bevor sie weiter nach abwärts streben. Auch die Färbungsversuche, die an versickernden Flüssen gemacht wurden, sprechen eher für die Karstwassertheorie als für geschlossene Gerinne. 1877 wurden in die bei Möhringen im Jurakalk versickernden 4000 l/sek. Donauwasser 200 dz Kochsalz geschüttet, die in der 7000 l liefernden Aachquelle zum Vorschein kamen. Es waren also noch 3000 l aus dem Grundwasser hinzugetreten. 1907 wurden ähnliche Versuche bei St. Canzian an der Reka angestellt. Der Farbstoff erschien wieder am Timavo, aber noch an vier anderen Stellen am Golf von Triest und brauchte für die bloß 12 km lange Strecke fünf Tage; es trat also auch hier eine starke Verästelung ein, das Rekawasser machte offenbar lange Umwege bis zu seinen Austrittstellen und vermischte sich mit dem Grundwasser. An der Küste kann das Karstwasser auch unterhalb des Meeresspiegels

in Form von submarinen Quellen unter starkem Druck austreten.

Größere Komplikationen treten ein, wenn sich Partien sehr verschieden starker Klüftung oder Löslichkeit einschalten, so daß das Karstwasserniveau mannigfache Störungen und Stauungen erfährt. So erklärte Grund die Fälle, die seiner Theorie zu widersprechen scheinen, durch besondere Verhältnisse der Struktur und Beschaffenheit des Gesteins.[7])

### 4. Artesisches Wasser.

Im Gegensatz zu den bisher besprochenen Fällen, wo die durchlässige Schicht die Oberfläche bildet, versteht man unter artesischem Wasser (so benannt nach dem Kloster Lillers in Artois, wo 1126 der erste artesische Brunnen in Europa gegraben wurde,) alles Grundwasser, das mit seiner Oberfläche an undurchlässige Schichten grenzt, also unter einem gewissen Druck steht. Es stammt aus einem bis zur Erdoberfläche reichenden Nährgebiet, das, oft in weiter Entfernung, in höherem Niveau gelegen ist; das Abflußgebiet liegt dort, wo das Druckwasser zutage tritt oder sich mit gewöhnlichem Grundwasser vermischt. Die Druckhöhe des artesischen Wassers ist abhängig von der Höhendifferenz zwischen Nähr- und Abflußgebiet und dem Reibungsverlust des Wassers im Boden. Die Herkunft des artesischen Wassers aus oberflächlichem Sickerwasser beweist das gelegentliche Vorkommen von Fremdkörpern und sogar von Organismen; bei den Bohrungen auf artesisches Wasser in Frankreich und in der algerischen Sahara wurden verschiedene Süßwasserorganismen, sogar kleine Fische ausgeworfen.[8]) Das Wiederzutagetreten des Wassers an natürlichen oder künstlichen Austrittstellen ist einfach eine Folge des hydrostatischen Druckes, wie Stapff und Keilhack überzeugend dargetan haben. Das im Nährgebiet eingesickerte Wasser bewegt sich weiter abwärts von diesem zwischen einer Decke und einer Unterlage von undurchlässigen Schichten, der Schwere, aber auch den verschiedenen Biegungen der Schichten folgend wie in kommunizierenden Röhren und steigt dann mit seinem Druck entweder an natürlichen Einschnitten oder dort, wo durch eine Verwerfung oder

7) Unter den Gegnern der Theorie vgl. namentlich noch Knebel, Höhlenkunde, 1906, Waagen, Geogr. Zeitschr. XVI 1910.

8) Rolland, Géologie du Sahara Algérien; Daubrée, Eaux souterraines I.

eine die wasserführende Schicht abschneidende undurchlässige Masse, z. B. einen Eruptivstock, seiner Bewegung ein Ende bereitet ist, oder durch eine künstliche Bohrung als Springquelle wieder auf. Seine Temperatur hängt dann natürlich von der Tiefe ab, bis zu welcher es abwärts gewandert ist.

Die geologischen Lagerungsverhältnisse beim Auftreten von artesischem Wasser können sehr verschiedenartig sein. Häufig ist die flach muldenförmige Lagerung eines mächtigen Schichtkomplexes, z. B. im Pariser Becken, wo tonige, sandige, kalkige und mergelige Schichten ohne bedeutende Lagerungsstörungen flach schüsselförmig gelagert sind und das Grundwasser in mehreren Stockwerken auftritt, oder in der chinesischen Provinz Szetschwan, wo Tausende von Röhrenbrunnen bis 600 m Tiefe bestehen, aus denen man Salzsole gewinnt. Eines der größten Druckwassergebiete der Erde ist in den Staaten Dakota und Nebraska in Nord-

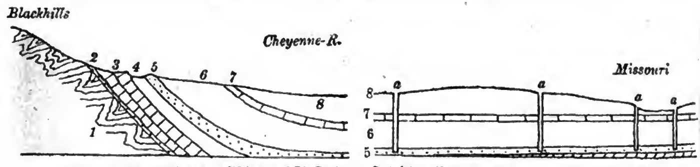



Abb. 7. Geologisches Profil durch Süd-Dakota. Artesische Bohrungen bei *a*. (*1* = Kristallin. Schiefer, *2* = Deadwood-Sandstein, *3* = Karbon, *4* = Redbeds, *5* = Dakota-Sandstein, *6* = Benton-Gruppe, *7* = Niobrara-Formation, *8* = Pierre-Schiefer.) (Nach Darton.)

amerika aufgeschlossen und in ausgedehntem Maße für wirtschaftliche Zwecke verwendet worden. Das Nährgebiet liegt in der Ostabdachung der Felsengebirge, von wo die Schichten in einer steilen Flexur abwärts steigen, dann in den Prärien flach liegen, um dann gegen den Missouri wieder anzusteigen (Abb. 7). Das wichtigste wasserführende Schichtglied ist hier der sehr mächtige Dakota-Sandstein, in dem der Drucküberschuß bis zu 150 m beträgt. Ein Beispiel für einfach geneigte Lagerung bieten die Verhältnisse in Wisconsin und Illinois, wo die Bohrungen stellenweise bis zu 900 m Tiefe bei einem Überdruck von 200 m herabgehen. In der algerischen Sahara wurde ein unterirdischer Wasservorrat nachgewiesen, der sich vom Atlas in den flexurartig abgebogenen Schichten langsam nach S bewegt und einen schmalen Streifen der Wüste in Kulturland umzuwandeln gestattete. Auch in Oberägypten, Abessinien und Australien sind durch artesische Bohrungen weite Kulturflächen gewonnen worden.

## II. Quellenkunde.

Überall dort, wo das Grundwasser auf natürlichem Wege wieder an die Erdoberfläche gelangt, entstehen Quellen. Je nachdem dabei das Wasser seinen Weg von oben nach unten oder, zumeist als artesisches Wasser, nach aufwärts genommen hat, unterscheiden wir absteigende und aufsteigende Quellen.

### 1. Die absteigenden Quellen.

In lockeren Bodenarten kann die wasserführende Schicht eine Verengung des Abflußprofils durch abnehmende Breite oder Mächtigkeit oder durch Verringerung ihrer Durchlässigkeit eine Abnahme der Wasserkapazität erfahren, so daß ein Teil ihres Wassergehaltes als Quellen zutage tritt. Im bayrischen Alpenvorland treten solche Quellen in einer weithin verfolgbaren Zone noch auf den Schotterflächen auf und geben Anlaß zur Bildung der sog. Moose. In anderen Fällen ist die Entstehung der Quellen durch das Auskeilen der wasserführenden Schicht bedingt. Die Quellinien am Nordrand des W.-Neustädter Steinfelds liegen dort, wo die diluvialen Schotterkegel zu Ende gehen und ihre Tegelunterlage an die Oberfläche kommt. Auch die Quellen am Rande sehr stark klüftiger Lavaströme (Island, Auvergne) und die Schuttquellen am Fuß von Bergsturzmassen und Schutthalden gehören hierher. Eine große Gruppe bilden die Schichtquellen, die dort auftreten, wo eine von undurchlässigen Bildungen unterlagerte wasserführende Schicht mit der Erdoberfläche sich verschneidet. Bei horizontaler Lagerung der Schichten tritt das Wasser an der ganzen inneren Kante des Talrandes oder an der Grenzfläche der Schichten am Gehänge zutage und erzeugt eine flächenhafte Durchfeuchtung und Versumpfung des Bodens. Bei geneigter Lagerung ist zu unterscheiden, ob die Schichten in der Richtung des Tales oder senkrecht dazu streichen (Abb. 8 u. 9). Im letzteren Falle, in Quertälern, liegen die stärksten Quellen dort, wo die sich senkenden wasserführenden Schich-

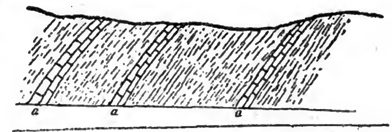



Abb. 8. Quellhorizonte in einem Quertal.

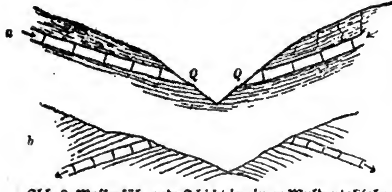



Abb. 9. Wasserführende Schicht in einem Muldental (oben) und einem Sattelial (unten).

ten den Talboden erreichen. Im ersteren Falle sind die Verhältnisse verschieden bei mulden- oder sattelförmiger oder isoklinaler (d. h. beiderseits in gleicher Richtung fallenden) Lagerung. Muldentäler haben, solange die Neigung der Schichten geringer ist als die der Gehänge, an beiden Gehängen denselben Quellhorizont in ungefähr gleicher Höhe; Satteltäler haben überhaupt keinen austretenden Quellhorizont; bei isoklinaler Lagerung entsteht er nur auf der Talseite, wo die Schichten mit dem Gehänge fallen. Wenn die wasserstauende Unterlage schüsselförmig gelagert ist, hält sie das eindringende Wasser zurück und läßt den Überschuß über die niedrigsten Punkte der Umwallung abfließen; so entstehen die sog. **Überfallsquellen**, wie sie in den nördlichen Kalkalpen häufig sind und an der Basis der mächtigen und stark klüftigen Triaskalke austreten. Oft sind es hier auch nur einfache **Spaltquellen**, die am Boden einer Kluft oder Spalte auftreten, wenn das in Klüften zirkulierende Wasser durch einen Spalt oder eine schmale Erosionsrinne bis unter den Grundwasserspiegel angezapft wird (z. B. die Quelle von Stixenstein, die die ältere Wiener Hochquellenleitung speist). Endlich bilden sich **Verwerfungsquellen**, wenn durch eine Verwerfung eine durchlässige Schicht mit einer undurchlässigen in Berührung gebracht wird (Abb. 10), und **Stauquellen** dort, wo eine undurchlässige Schicht, die die wasserführende bedeckt oder sie durchschneidet, wie z. B. ein Eruptivgang, das Grundwasser anstaut und an der Grenze beider Bildungen zum Austritt zwingt.

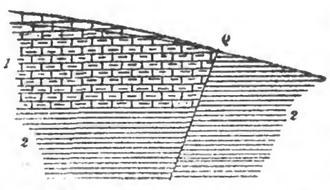



Abb. 10. Verwerfungsquelle. (1 = Wasserträger [permeabel], 2 = Wasserstauer [impermeabel].)

Als ein berühmtes Beispiel einer Überfallsquelle gilt die Quelle von Vaucluse am M. Ventoux in den französischen Kalkalpen, die am Fuß einer 200 m hohen Felswand aus einem großen Becken entspringt, das

in einer tiefen Grotte endet. Ihr Ertrag schwankt in den Extremen zwischen 55 und 120 cbm/sek.; auch reagiert sie sehr rasch auf kleine Schwankungen des Niederschlags. Sie ist weit und breit die einzige Quelle dieses wasserarmen und stark verkarsteten Kalkgebietes. Daher sah Knebel in ihrem Auftreten einen Beweis gegen die Karstwassertheorie; doch konnte das Vorhandensein eines Höhlenflusses nicht erwiesen werden. Grund zeigte, daß eigentlich eine Kombination mit einer Stauquelle vorliegt, und erklärte das Fehlen eines Quellenhorizontes daraus, daß im übrigen die stauende Barre, die sich von undurchlässigen Tertiärschichten gebildet, an den Abfall des Kalkplateaus lehnt, höher liegt als der Grundwasserspiegel. Für die Herkunft der Quelle aus einem Grundwasser mit großer Spiegelschwankung spricht gerade die außerordentlich große Schwankung der Höhe der Austrittstelle.

## 2. Die aufsteigenden Quellen.

Bei den aufsteigenden Quellen muß ein Auftrieb vorhanden sein, der in den meisten Fällen durch den hydrostatischen Druck geliefert wird. Das Wasser steigt entweder mit einer Aufbiegung der wasserführenden Schicht oder längs einer Verwerfungskluft an die Oberfläche und hat einen um so größeren Auftrieb, je größer der Höhenunterschied zwischen dem obersten Wasserspiegel innerhalb der Schicht und der Austrittsstelle ist (Abb. 11). Zu den aufsteigenden Schichtquellen gehören u. a. die warmen Quellen von Baden in der Schweiz, deren Nährgebiet in den Alpen liegt und die mit dem Wiederaufbiegen der Triaskalke und -dolomite jenseits des Molasselandes zutage treten, wobei sich das Wasser ansehnlich erwärmt und mit gelösten Stoffen beladen hat. Sie reagieren mit Verspätungen von $1^1/_2$—2 Jahren auf Schwankungen der jährlichen Niederschläge im Gebirge. Beispiele für aufsteigende Verwerfungsquellen bieten namentlich die in Linien angeordneten warmen Quellen, wie die der Wiener Thermenlinie, die am Abbruch des Schwarzwaldes und des Erzgebirges auftretenden warmen Quellen und die von Aachen.

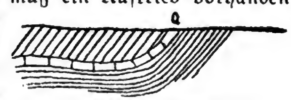


Abb. 11. Aufsteigende Schichtquelle.

Zu den aufsteigenden Quellen gehören auch die intermittierenden, kochenden Springquellen, die nach dem am längsten bekannten Vorkommnis im südwestlichen Island als Geiser benannt und sonst nur noch, etwa 100 an der Zahl, in großer Mannigfaltigkeit der Erscheinungen im Yellowstone-Nationalpark und

auf der Nordinsel von Neuseeland (wo seit 1899 der gewaltige Waimangu-Geiser tätig ist), in kleineren Erscheinungen in Mexiko, Japan, Californien und Tibet vorkommen. Stets besteht die Erscheinung darin, daß nach Zeiten vollkommener Ruhe aus einem Wasserbecken, das Kieselsinterablagerungen umgeben, zuerst Dampfblasen aufsteigen, die das Wasser glockenartig heben, dann das Wasser hoch aufschäumt und einige Minuten hindurch Wasserstrahlen und Dampfwolken emporschleudert. Beim isländischen Geiser wiederholen sich die sog. kleinen Ausbrüche ohne Aufschießen der Fontäne alle 80—90 Min., die großen alle 24—30 Stunden bis zu Höhen von 30 m, worauf das Becken leer ist und sich wieder allmählich füllt. Der „Old-Faithful" im Yellowstone-Park wiederholt sein Spiel mit wunderbarer Regelmäßigkeit alle 65 Min.

Nach den Beobachtungen von Bunsen am isländischen Geiser (1846) nimmt vor der großen Eruption die Temperatur in dem Steigrohr, das in das Becken mündet, von oben nach unten zu und steigert sich in allen Punkten mit Annäherung an den Ausbruch, ohne aber irgendwo den dem betreffenden Druck entsprechenden Siedepunkt zu erreichen; doch ist sie in etwa 9—10 m Tiefe unmittelbar vor dem Ausbruch dem Siedepunkt am nächsten. Wenn nun hier die darüber befindliche Wassersäule nur wenig gehoben und dadurch der Druck vermindert wird, so gerät ein Teil des Wassers ins Sieden; der sich bildende Dampf hebt das Wasser noch weiter, immer größere Massen kommen unter geringeren Druck und damit ins Sieden und so pflanzt sich die Dampfentwicklung durch den größten Teil der Wassersäule fort. Der Ursprung der ganzen Erscheinung liegt also nach dieser Theorie Bunsens etwa in der Mitte des Rohres, die die Wassermassen emporschleudernde Kraft ist die bei der Dampfbildung zur Wirkung kommende Expansion des Wasserdampfes, die sich aber auch nicht in einem einzigen Strahl erschöpfen kann. Denn die in der Luft abgekühlten Strahlen stürzen wieder ins Rohr zurück, dadurch wird der Dampf so lange verdichtet, bis die Temperatur von neuem auf den Siedepunkt gestiegen ist. Daraus erklären sich die in einzelnen Schüssen emporsteigenden Strahlen und die lange Dauer einer Eruption.

Zu erklären bleibt noch jene Hebung der Wassersäule, die den ersten Anstoß zur Eruption gibt. Ihre Ursache liegt wahrschein-

lich in lokaler Dampfbildung in den mittleren Tiefen mit zunehmender Erhitzung des Wassers; aber erst, wenn die darüber befindliche Masse der Siedetemperatur bereits so angenähert ist, daß auch die kleinste Druckverminderung in ihr die Siedetemperatur und damit die Dampfbildung erzeugt, kommt es zur großen Eruption. Für den Eintritt dieses Ereignisses ist aber, wie H. Kayser betont[9]), die Form des Rohres maßgebend. Bei rein zylindrischer Form könnte es nie zu einer Eruption kommen, denn das erhitzte Wasser würde aufsteigen, dafür von oben kälteres nachsinken, bis überall gleiche Temperatur herrscht; es würde wohl zum Sieden, aber nicht zur Eruption kommen. Ist aber das Rohr in der kritischen Tiefe verengt, wie dies tatsächlich beim isländischen Geiser durch Bryson nachgewiesen wurde, so kann nur ein Teil des Wassers in eine Konvektionsströmung gelangen und seine Temperatur ausgleichen, während der andere überhitzt wird; das Gleiche muß eintreten, wenn das Rohr an der kritischen Stelle knieförmig abgebogen ist, so daß das von unten aufsteigende Wasser nur bis zu dieser Stelle gelangen kann und die Ausgleichsströmung gehemmt wird.

Bemerkenswert ist auch, daß manche der heißen Quellen des Yellowstone-Parkes sich mit der Zeit in Geiser verwandelt haben, wahrscheinlich infolge von Veränderungen der Quellkanäle und damit der Temperatur. Im umgekehrten Sinne wirkt die Ablagerung von Kieselsinter um die Austrittstelle des Wassers. Dadurch wird das Quellrohr immer höher, durch den nun immer größer werdenden Druck der Wassersäule über der kritischen Stelle werden die Pausen zwischen zwei Eruptionen immer größer. Schließlich wird der Druck so groß, daß die zugeführte Wärme nirgends mehr ausreicht, um Dampfbildung und damit Eruptionen zu erzeugen. Der Geiser verwandelt sich dann in ein mit ruhigem, heißem Wasser erfülltes Becken mit einem erloschenen Sinterkegel. Das Geiserstadium ist also nur eine vorübergehende und im Lauf der Zeit sehr veränderliche Erscheinung und es sind benachbarte Geiser in der Art, Häufigkeit und Stärke ihrer Ausbrüche voneinander völlig unabhängig.

Außer dem Wasserdampf können auch andere Gase als Auftrieb des Grundwassers wirken. Die an vielen Stellen mit Auftrieb auftretenden

9) E. Kayser, Lehrb. d. Geologie, 4. Aufl. I. 319.

Kohlensäuerlinge werden durch entströmende Kohlensäure emporgetragen, die wohl ein Entgasungsprodukt erkaltender vulkanischer Herde sind, z. B. die Quellen von Nauheim, von Homburg und Kissingen. In ähnlicher Weise wirkt Kohlenwasserstoff, namentlich in Naphthagebieten; indem dabei das Wasser mit lockeren, tonigen Substanzen vermischt ausgeschleudert wird, entstehen die sog. **Schlammvulkane**, wie sie z. B. auf der Halbinsel Apscheron am Kaspisee auftreten, die aber kaum mehr als Quellen betrachtet werden können.

### 3. Schwankungen in der Ergiebigkeit der Quellen.

Nach der Ergiebigkeit lassen sich **perennierende** und periodische oder **intermittierende** Quellen unterscheiden. Unter den ersteren haben die vom Grundwasser lockerer Bodenarten gespeisten Quellen Schwankungen ganz analog denen des Grundwassers, sind also in der Jahresperiode und auch in säkularen Schwankungen von Niederschlag und Verdunstung abhängig; dieselbe Abhängigkeit zeigt sich wohl auch bei den aus festem Gestein austretenden Quellen, doch ist die Raschheit, mit der sie auf Veränderungen der Niederschläge reagieren, von der Klüftigkeit des Gesteins bedingt. Quellen aus Kalkgestein reagieren rasch und haben überhaupt sehr große Schwankungen des Ertrags. Quellen mit einer Schwankung zwischen Minimum und Maximum von 1:20 bis 1:200 sind mit **Heim** als schlechte Quellen zu bezeichnen, da sie nur ungenügend filtriertes Wasser liefern; die Zirkulation des Wassers geschieht wohl nur in wenigen großen Klüften. Bei den besseren Quellen (Min.:Max. $\lesseqgtr$ 1:20) ist die Verspätung gegenüber den Niederschlägen größer, gute Quellen haben bisweilen Verspätungen von einigen Monaten bis zu mehr als einem Jahr und nur sehr geringe Schwankungen. Je länger das Wasser braucht, um von der Versickerungsquelle bis zum Austritt zu gelangen, desto geringer ist die Schwankung und desto wertvoller die Quelle.

Als **intermittierende** Quellen werden diejenigen bezeichnet, deren Ergiebigkeit zwischen meist großem Ertrag und völligem Versiegen mehr oder weniger regelmäßig abwechselt. Da sie nur im Kalkgebirge vorkommen, hat sie **Grund** als **Karstquellen** bezeichnet, während er die perennierenden des Karstgebietes Vauclusequellen nannte. Nach der Theorie der Karstgerinne werden jene gewöhnlich folgendermaßen erklärt (Abb. 12).[10]

10) **Haas**, Quellenkunde, S. 81 ff.

Zwischen einem unterirdischen Quellbehälter (H), in den das Wasser durch eine Kluft eintritt, und dem Quellaustritt (C) befindet sich ein heberförmig gekrümmter Kanal. Wenn sich der Hohlraum füllt, steigt das Wasser auch in dem Steigrohr bis B und fließt, sobald es hier die gleiche Höhe wie in dem Behälter erreicht hat, so lange aus und entleert den Hohlraum, bis in ihm die Oberfläche des Wassers unter das Niveau der Austrittsöffnung bei A gesunken ist. Dann hört die Quelle zu fließen auf und beginnt erst wieder, wenn das Wasser im Behälter die Höhe des Steigrohres bei B erreicht hat. Die Dauer des Fließens hängt also von der Größe des Behälters und dem Durchmesser der Abzugskanäle ab; ferner müssen diese mehr Wasser fortführen können als dem Sammelbecken zugeführt wird, da sonst das Wasser beständig in der Höhe von B stünde und das Fließen keine Unterbrechung erfahren würde.

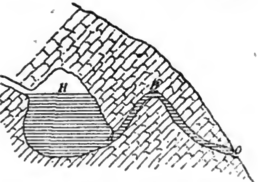



Abb. 12. Intermittierende Quelle. (Nach Höfer.)

Eine allgemeinere Erklärung gab Grund durch seine Theorie der Schwankungen des Karstwasserspiegels. Danach ist das Fließen einer Quelle im Karst dadurch hervorgerufen, daß der Austrittspunkt der Quelle innerhalb der Karstwasserschwankung liegt. Kann die Quelle längs einer ausstreichenden Kluftspalte ihren Austrittspunkt verschieben, so hebt sich dieser mit dem Steigen und senkt sich mit dem Sinken des Karstwassers, die Quelle ist perennierend; kommt er über das jeweilige Karstwasserniveau zu liegen, so versiegt die Quelle. An demselben Gehänge können daher perennierende und periodische Quellen übereinander vorkommen, wie das in den Causses von Südfrankreich und im adriatischen Karstgebiet mehrfach vorkommt. Doch gibt es intermittierende Quellen, bei denen das Aussetzen des Abflusses so häufig und so regelmäßig geschieht, daß doch wohl nur an die heberartige Entleerung eines Hohlraumes gedacht werden kann. Die Idzukquelle im Bihargebirge (Ungarn) intermittiert in regnerischen Zeiten in Intervallen von 10—15, in trockenen von 20 bis 30 Minuten. Die Grundsche Erklärung bezieht sich also nur auf periodische Quellen mit langen Unterbrechungen und je nach der Lage der Austrittsstelle verschieden langer Tätigkeit.

Neben diesen periodischen Schwankungen gibt es plötzlich eintretende oder langsam sich entwickelnde und dauernde Veränderungen im Ertrag einer Quelle durch natürliche Vorgänge oder künstliche Eingriffe, wie Abgrabungen, Tunnelbauten u. dgl. Zu den natürlichen verändernden Prozessen gehört die Erosion des fließenden Wassers, Erweiterung der Quellstränge durch chemische Lösung des Gesteins, namentlich im Kalkgestein, und mechanische Verschlemmung der Klüfte. Zahlreich sind die Fälle von teils quantitativen, teils qualitativen Beeinflussungen von Quellen durch Erdbeben und auch von Neubildung von Quellen durch das Aufreißen offener Spalten. Ein bekanntes Beispiel bot die Beeinflussung der Teplitzer Urquelle in Böhmen durch das große Lissaboner Erdbeben am 1. November 1755. Nach längerer Trübung versiegte die Quelle durch einige Minuten völlig und brach dann plötzlich, durch Ocker rot gefärbt, so mächtig hervor, daß sie überfloß. Die Ursache der Erscheinung liegt nach F. E. Sueß darin, daß die durch das Erdbeben hervorgerufenen elastischen Schwingungen spontane Gasbildung und damit ein plötzliches Aufwallen des Wassers erzeugt hatten.

### 6. Die Temperatur der Quellen.

Ebenso wie das Grundwasser werden die Quellen in warme oder kalte unterschieden, je nachdem ihre mittlere Temperatur über oder unter dem Jahresmittel der Lufttemperatur an der Austrittsstelle gelegen ist, während balneologisch alle Quellen über 20° C als warme (Thermen) bezeichnet werden. Die Ursache der hohen Wärme mancher Quellen ist natürlich die Eigenwärme der Erde, die lokal durch chemische Prozesse oder die Nähe vulkanischer Herde gesteigert werden kann. Die Quelltemperatur ist daher um so höher, je mehr sich das Wasser auf seinem unterirdischen Weg von der Erdoberfläche entfernt hat, je kleiner daselbst die geothermische Tiefenstufe ist, je rascher das Wasser aus der größten Tiefe wieder zur Oberfläche gelangt ist und je schlechter das dabei durchdrungene Gestein die Wärme zu leiten vermag. Dazu kommt dann noch der Einfluß der Vermischung des aus großen Tiefen aufsteigenden Wassers mit gewöhnlichem, kälterem Grundwasser.

Die Schwankungen der Quelltemperatur sind im allgemei-

nen um so kleiner, je mächtiger die Quelle ist und aus je größeren Tiefen sie stammt; daher haben die sehr warmen Quellen nahezu konstante Temperaturen. Doch ist auch bei gewöhnlichen Quellen die Temperaturschwankung meist gering, da ja die Schwankungen der Lufttemperatur schon in etwa 20 m Tiefe auf die Boden- und Gesteinstemperatur keinen Einfluß haben. Manche Quellen sind sogar im Winter wärmer als im Sommer; denn im Winter bei gefrorenem Boden sickert kein Wasser in die Tiefe, alles Wasser stammt aus tieferen Vorräten, während im Sommer das kältere Schneeschmelzwasser zum Vorschein kommt.[11])

Die Abhängigkeit der Quelltemperatur von der Meereshöhe hat zuerst Daubrée[12]) in den Vogesen untersucht und fand ein Temperaturgefälle von 1° C in Höhen von

| | 180—280 m | 280—360 m | 360—920 m |
|---|---|---|---|
| zu | 200 m | 120 m | 200 m |

In Niederösterreich fand F. v. Kerner[13]) eine Verlangsamung der Abnahme der Quelltemperatur mit der Höhe am Südrand des Böhmischen Massivs als eine Folge von dessen Plateaucharakter, wodurch die Neigung des Terrains nach oben abnimmt. Die Kalkalpen haben unter 700 m in gleichen Höhen tiefere Quelltemperaturen als die Voralpen wegen der größeren Klüftigkeit ihres Gesteins, die das kältere Wasser der höheren Lagen rascher und in größeren Mengen am Gebirgsfuß austreten läßt, ehe es noch die dort herrschende Bodentemperatur angenommen hat. Das mittlere Minimum der Quelltemperaturen fällt Ende Februar, das mittlere Maximum Anfang September. In Tirol ergab sich eine Verspätung des Minimums mit zunehmender Seehöhe infolge der Verspätung des Eintritts der Schneeschmelze bis Mitte Juli; ebenso verspätet sich das Maximum mit der Höhe, da auch das Maximum der Bodentemperatur infolge der länger andauernden Insolation in den größeren Höhen, dann wegen der größeren Trockenheit des gemähten und ausgedörrten Grasbodens erst im Herbst auftritt, bis Mitte November. In den Kalkalpen nördlich vom Inn sind abermals wegen der größeren Klüftigkeit des Kalkes in gleichen Höhen die Quellen kälter als in den Zentralalpen;

11) Heim bei Keilhack a. a. O., S. 127.
12) Les eaux souterraines, I. S. 421 ff.
13) Meteorolog. Zeitschrift 1905, S. 159.

dazu kommt die geringere Bodenwärme der Kalkalpen in größeren Höhen, wo sie dem Gipfelniveau bereits näher sind als die Gehänge der Zentralalpen. Der Unterschied tritt aber erst über 600 m Höhe auf, da in tieferem Niveau das abnorm kalte Wasser des Kalkes in den diluvialen Innterrassen sich noch nachträglich erwärmt. Auch in den eigentlichen Karstländern herrschen kalte Quellen vor (die Timavo- und Aurisinaquelle bei Triest, die Rečina- und Radoboljaquelle sind 4—5° kälter als die Luft) infolge der hohen Lage des Infiltrationsgebietes und der raschen Bewegung des Wassers nach abwärts. Das Sickerwasser wirkt hier auf die Gesteinstemperatur herabsetzend. Genaue Temperaturbeobachtungen können auch für die Frage eines Zusammenhanges zwischen Quellen und oberirdisch fließenden Gewässern wichtig werden. Während die Reka den extremen Temperaturgang eines Flusses mit Schwankungen im Lauf des Jahres von 0°—27° hat, haben die Timavo- und Aurisinaquellen eine geringere, aber doch noch ansehnliche Schwankung (8—15°), eben infolge der Mischung des Grundwassers mit Rekawasser. Karstquellen sind daher im Sommer kühler, im Winter wärmer als der zugehörige Ponorfluß.[14])

### 5. Mineralquellen und Thermen.

Je länger das Wasser unterirdisch fließt und je höhere Temperaturen es dabei annimmt, desto mehr belädt es sich dabei mit gelösten Substanzen, da wärmeres Wasser eine größere Lösungsfähigkeit besitzt und auch sein Kohlensäuregehalt bei längerem Verweilen unter der Erdoberfläche in der Regel zunimmt. Der Mineralgehalt der Quelle hängt natürlich zunächst von der Beschaffenheit des Muttergesteins ab; dazu kommen dann die aus dem Erdinnern aufsteigenden Dämpfe im sog. juvenilen Wasser. Karbonate, Chloride, Sulfate und Sulfide sind die häufigsten Bestandteile, für die medizinische Wirkung mancher Quellen sind die Beimischungen von Phosphaten, Lithium, Barium, Strontium, Arsen und Eisen wichtiger; von großer Bedeutung scheint die Radioaktivität mancher Quellen zu sein. Nach ihrem Gehalt an gelösten mineralischen Stoffen lassen sich vom therapeutischen

14) Näheres darüber s. Grund, Beitr. z. Morphol. d. Dinar. Geb. 1910, S. 159.

Gesichtspunkt folgende Typen unterscheiden: 1. Akratopegen, einfache kalte Quellen, arm an freier Kohlensäure und gelösten festen Bestandteilen (< 1 g in 1 kg); 2. einfache Säuerlinge oder Anthrakokrenen mit einem höheren Gehalt an Kohlensäure, aber arm an festen Bestandteilen (Apollinarisquelle, Marienquelle in Marienbad); 3. Akrato- (= reine) thermen, einfache warme Quellen, aber arm an Kohlensäure und festen Bestandteilen (Warmbrunn 43°, Teplitz i. B. 49°, Pfäffers 37°, Gastein 49° mit hoher Radioaktivität); 4. alkalische Quellen mit höherem Gehalt an kohlensaurem Natron und freier Kohlensäure; je nachdem ersteres das Übergewicht hat oder noch außerdem größere Mengen von Kochsalz oder von schwefelsaurem Natron vorkommen, unterscheidet man alkalische Quellen im engeren Sinne (Bilin, Gießhübel, als Therme Vichy), alkalisch-muriatische (Selters, Ems) oder alkalisch-salinische oder alkalisch-sulfatische (Glaubersalzquellen: Marienbad, Franzensbad, Karlsbad als Therme von 74°); 5. Eisenquellen mit einem höheren Eisengehalt, wobei dann wieder als Untergruppen einfache Eisensäuerlinge, alkalische und alkalisch-salinische (St. Moritz), erdig-salinische (Pyrmont, Wildungen) und Vitriolwässer mit schwefelsaurem Eisenoxyd oder Eisenoxydul (Ratzes, Levico, Roncegno) unterschieden werden; 6. Kochsalzquellen und Solen (mit mindestens 1,5 % NaCl, Halopegen und Halothermen) und zwar einfache (Kissingen, Baden-Baden 67°, Wiesbaden 69°) und Kombinationen zu alkalischen, salinischen, erdmuriatischen, erdigen und sulfatischen; 7. Bitterquellen mit einem höheren Gehalt von schwefelsaurer Magnesia (Hunyadi-János bei Ofen, Saidschitz); 8. alkalisch-erdige Quellen mit Kalkkarbonat oder Kalksulfat als Hauptbestandteilen; 9. Schwefelquellen mit freiem Schwefelwasserstoff oder Sulfiden der Alkalien (als Thermen: Aix-les-Bains, Leuk 51°, Baden bei Wien, Baden i. Schweiz, Mehadia 55°).

Entstehung der Thermen. Die hohe Temperatur der Thermalwässer hängt zweifellos mit der Tiefe zusammen, aus der das Wasser kommt, ohne daß es dabei immer auch aufzusteigen braucht; so sind die Thermen von Gastein, Bormio und Pfäffers absteigende Quellen mit großen Schwankungen ihrer Ergiebigkeit. Auch sind keineswegs alle aufsteigenden Thermen an vulkanische Gebiete gebunden, wie die von Burtscheid bei Aachen

(77,5 °), von Baden u. a. Doch läßt sich zumeist ein Zusammenhang mit Bruchlinien erkennen. Wichtiger ist die Frage nach der **Herkunft** des Thermalwassers. Bei denjenigen Thermen, deren Mineralgehalt keine Beziehung zu dem durchdrungenen Gestein zeigt (wie z. B. der große Kalkgehalt der im Granit auftretenden Karlsbader Therme), die Stoffe enthalten, die zu den bezeichnenden Bestandteilen vulkanischer Dampfexhalationen gehören, aber in den oberflächlichen Schichten meist fehlen (wie Argon und Helium, Fluor, Bor, Brom, Jod, Arsen, Zinn, überhaupt Metalldämpfe) und deren Ertrag von den Jahreszeiten nicht beeinflußt wird und die Niederschlagsmenge der betreffenden Gegend weit übertrifft, sprach E. Sueß[15]) von **juvenilen** Quellen; ihr Wasser, ihre gelösten Stoffe und Gase gelangen infolge der Entgasung des Erdkörpers zum erstenmal ans Tageslicht und vermehren den Wasser- und Gasgehalt der Atmosphäre und Hydrosphäre. Ihnen stehen die **vadosen** Thermen gegenüber, deren Wasser wie das der gewöhnlichen Quellen vom Sickerwasser gespeist wird, die ärmer an mineralischen Stoffen sind und in ihrer Ergiebigkeit von den Jahreszeiten abhängen, endlich eine große Anzahl von gemischten Thermen, entstanden durch Mischung von vadosem und juvenilem Wasser.

Nun ist aber für die Geiser und viele Fumarolen Islands und auch des Yellowstone-Parks ein direkter Zusammenhang mit dem oberflächlichen Wasser erwiesen worden; für die Thermen von Teplitz ergab ein Einbruch des im Porphyr befindlichen Kluftwassers in den Bergbau im Jahre 1879 eine Störung der Thermen; eine Quelle versiegte für immer. Auch die Karlsbader Thermen zeigen nicht unbedeutende aperiodische Schwankungen und überdies eine Abhängigkeit ihres Ertrags vom Wasserstand des Tepl-Flusses, derart daß ein verstärkter Druck des Grundwassers eine Drosselung der höher gelegenen Quellen erzeugt, während der Sprudel erhöht wird. Man wird daher die Theorie von E. Sueß dahin auffassen müssen, daß in den von ihm angeführten Fällen juveniles Wasser aufsteigt, aber wohl niemals ungestört und ungemischt und stets beeinflußt vom vadosen Grundwasser, das es auf seinem Weg antrifft. Das Aufsteigen juvenilen Wassers aus dem Erdinnern kann aber kaum bestritten werden.

15) Über heiße Quellen, Verh. d. Naturf.-Tages, Karlsbad 1902.

# III. Flußkunde.

## 1. Allgemeine Begriffsbestimmungen.

Der zum oberflächlichen Abfluß gelangende Teil des Niederschlags bewegt sich nur ausnahmsweise über größere Flächen gleichmäßig und abspülend; in der Regel sammelt er sich in Vertiefungen der Erdoberfläche und folgt deren Gefälle. Die regelmäßig von Quellen gespeisten und in bestimmten Rinnen fließenden Wasseradern bezeichnen wir als Bäche oder Flüsse im Gegensatz zu den bloß durch heftige Regengüsse hervorgerufenen Wildbächen.

Die abfließenden Wassermassen erscheinen fast immer als ein mehr oder weniger verzweigtes Netz oder Flußsystem, in dem ein Hauptfluß und seine Nebenflüsse und deren Zuflüsse zu unterscheiden sind. Doch ist diese Unterscheidung oft nur eine willkürliche oder durch historische Tatsachen, namentlich die Geschichte der Besiedelung oder Erforschung eines Landes gegeben, wie in dem bekannten Falle von Elbe und Moldau. Die von der Gesamtheit der Wasseradern eines Flußsystems entwässerte Fläche heißt Flußgebiet oder (meist nur bei größeren Flüssen oder Strömen) Einzugsgebiet. Einzugsgebiet eines Flusses an einer bestimmten Stelle ist der Teil des gesamten Flußgebietes, dessen oberflächlich abfließende Wasser diese Stelle passieren. Die obersten Endigungen eines Flußsystemes bilden die Quellflüsse, doch ist auch dabei oft die Entscheidung schwierig, welcher Quellfluß als der des Hauptflusses zu bezeichnen ist. Der Volksmund hat in manchen Fällen das Richtige insofern getroffen, als er ungefähr gleichwertige Quellflüsse verschieden benennt und der Name eines Hauptflusses erst nach ihrer Vereinigung erscheint. So vereinigen sich Werra und Fulda zur Weser, Naryn und Karasu zum Syr-Darja.

Der tiefste Punkt eines Flußlaufes ist seine Mündung in einen andern Fluß, einen See oder das Meer. Endet der Fluß durch Versickerung oder Verdunstung, so spricht man von einem Stromende. In vielen Fällen verästelt sich das Stromende in einem Netz von Adern, der Fluß endet in Mooren oder Sümpfen, es liegt eine unbestimmte Entwässerung vor. Die Gren-

zen eines Flußgebietes, wo sich zwei entgegengesetzte Gefällsrichtungen des Abflusses verschneiden, heißen Wasserscheiden. Den bestimmten Wasserscheiden stehen im Bereich der unbestimmten Entwässerung unbestimmte Wasserscheiden gegenüber; das ist der Fall in Sumpfgebieten (so haben nach Gavazzi die Stromebenen von Kroatien und Slavonien auf 32% ihrer Fläche eine unbestimmte Entwässerung), aber auch in Trockengebieten, wo ein Flußnetz überhaupt fehlt, und im Bereich unterirdischer Entwässerung, deren Richtung und Verlauf von den oberflächlichen Abdachungsverhältnissen ganz verschieden sein kann.

Die Länge der Flüsse, die in den meisten Staaten bereits kilometriert ist, kann auf guten Karten durch Abzirkeln oder durch das Meßrädchen ermittelt werden, wobei natürlich die erzielte Genauigkeit von dem Maßstab der Karte abhängt. Das Verhältnis der ermittelten Flußlänge zu der Länge der Luftlinie zwischen den Endpunkten der Messung heißt die Laufentwicklung des Flusses; sie gibt einen Ausdruck für die Größe seiner Windungen. Der Aufbau eines Flußsystems, d. h. das Verhältnis der Flußlänge zur Größe des betreffenden Flußgebietes an verschiedenen Punkten seines Laufes ist sehr wechselvoll, nimmt manchmal regelmäßig von der Quelle zur Mündung zu, meist aber ändert er sich sprunghaft und ist zu beiden Seiten des Flusses sehr verschieden. Wichtiger als für diese Verhältnisse sind zahlenmäßige Ausdrücke für die Flußdichte eines Gebietes oder Landes, worunter das Verhältnis der Längen aller Flüsse des Gebietes zur Größe desselben gemeint ist. Indem dieser Wert für orographisch, klimatologisch oder geologisch verschiedene Teile eines Flußsystems oder eines Landes berechnet wird, gewinnt man ungefähre Vorstellungen von dem Einfluß der Böschung, der Beschaffenheit des Verwitterungsbodens, der Pflanzendecke, Niederschlagsverteilung und Durchlässigkeit der Gesteine auf die Dichte der Abflußkanäle; doch können sich diese Einflüsse so verschiedenartig kombinieren und gegenseitig aufheben, daß zahlenmäßige Beurteilungen eine eingehende Einzeluntersuchung der in Betracht kommenden Faktoren in der Regel nicht ersetzen können.[16])

16) Vgl. die Untersuchung von L. Neumann über die Flußdichte im Schwarzwald, Beitr. zur Geophysik, IV. 1906.

Flußbett und Ufer. Unter dem Flußbett versteht man den bei mittlerem Wasserstand vom Wasser bedeckten Teil des Gerinnes; der dann unbenetzte Teil der Bettwandung heißt Ufer. Nur bei Steilufern ist ein deutlicher Uferrand vorhanden; geht er allmählich in den Talboden über, so spricht man von einem Ufersaum. Bei Hochwasser „ufert der Fluß aus" und endet erst an den meist steilabfallenden sog. Hochufern. Die zwischen Ufer und Hochufer gelegenen Flächen bilden das Vorland und sind meist auch das von menschlichen Siedlungen gemiedene Überschwemmungs- oder Inundationsgebiet.

Die Verteilung der Tiefen in einem normalen Flußbett ist die, daß in den Stromkrümmungen größere Tiefen herrschen als in den sog. Übergängen, d. i. den Strecken, wo der Fluß aus einer Krümmung in die andere übergeht. Die Verbindungslinie der größten Tiefen heißt im Wasserbau der Talweg; er liegt stets in der Nähe des konkav gebuchteten Ufers, wo der Fluß sein Ufer angreift, und zwar um so näher, je steiler das Ufer und je schärfer die Krümmung ist. An den Übergängen bestehen gewöhnlich die geringsten Tiefen. Daher besitzt das Längsprofil des Talwegs eine wellenförmige Gestalt, indem sog. Kolke mit Untiefen wechseln. In trockenen, erst vor kurzem verlassenen Strombetten erscheinen die Kolke als langgestreckte, von Wasser erfüllte Wannen, getrennt durch trockene Schwellen. Das Längsprofil eines Flußbettes erfährt aber beständige Veränderungen. Bei Hochwasser werden die Schwellen vom mitgeführten Flußgeschiebe langsamer überwunden und daher erhöht, bei Niederwasser werden sie wieder etwas abgetragen; umgekehrt werden die Kolke durch das Hochwasser vertieft, bei Niederwasser etwas zugeschüttet. Namentlich plötzlich hereinbrechende Flutwellen können große Veränderungen der Flußsohle zur Folge haben; dazu kommt die Wirkung des Eisstoßes auf das Flußbett, natürlicher Barren aus zusammengeschwemmten Baumstämmen bei den meisten tropischen Flüssen, aber auch an Elbe und Oder, und der das Geschiebe fesselnder Wasserpflanzen (unter denen die seit dem 19. Jahrhundert in Europa eingeschleppte sog. Wasserpest — Elodea canadensis — für die Schiffahrt besonders bedenklich wurde). Isolierte Kolke entstehen in Verengungen des Profils und überhaupt dort, wo das Ufer besonders steil abfällt. Neben-

flüsse drängen durch ihre Mündungsschuttkegel die Strömung an das gegenüberliegende Ufer und bewirken ihrerseits eine zunehmende Verlandung. Zur genauen Kenntnis der Sohle sind daher namentlich bei schiffbaren Strömen fortgesetzte Profilaufnahmen erforderlich.

Das Längsprofil eines Flusses an seiner Oberfläche wird gewöhnlich auf den mittleren Wasserstand bezogen und läßt das Gefälle, ausgedrückt in ‰, erkennen. Es schwankt in sehr weiten Grenzen und nimmt im allgemeinen mit der Größe des Stromes, also gegen die Mündung ab. Bei den Flüssen der norddeutschen Tiefebene ist es 0,15 bis 0,30 ‰, an der Donau zwischen Komorn und dem Banater Durchbruch bloß 0,05 ‰.

Abgesehen von den geologischen und morphologischen Einflüssen, die in der Entwicklungsgeschichte des Flusses begründet sind, treten Gefällsknicke oder Stufen unterhalb der Mündung geschiebereicher Nebenflüsse auf (z. B. in der Donau oberhalb der Innmündung 0,22 ‰, unmittelbar unterhalb davon 0,5 ‰); eine stauende Wirkung und daher eine vorübergehende Minderung des Gefälles übt das Hochwasser eines Nebenflusses aus. Im allgemeinen ist bei Hochwasser das Gefälle ausgeglichener als bei Niederwasser, da die kleinen Störungen überdeckt werden, aber auch überhaupt größer. — Die Gestalt des Querprofils ist von der bereits geschilderten Verteilung der Tiefen abhängig und daher mit dem Wechsel der Krümmungen von Ort zu Ort sehr verschieden. In geradlinigen Strecken des Unterlaufes größerer Flüsse hat es ungefähr Parabelform.[17])

## 2. Der Wasserhaushalt der Flüsse.

a) **Die Wasserführung.** Die Wasserführung der Flüsse ist in erster Linie durch klimatische Faktoren bedingt. Danach lassen sich Flüsse, deren Wasserführung gegen die Mündung konstant zunimmt, unterscheiden von solchen, bei denen durch Verdunstung und ständigen Verlust an das Grundwasser (S. 15) die Wasserfülle nach abwärts konstant abnimmt, den sog. Steppenflüssen. Ihnen scheinbar verwandt sind die Sickerflüsse, bei denen aber die Wasserverluste nur durch die Durchlässigkeit ihres Bettes be-

17) Die Ausbildung des sog. Normalgefälles ist Gegenstand der Geomorphologie.

dingt sind. Eine weitere Einteilung nach klimatologischen Gesichtspunkten gab Woeikof[18]); er unterscheidet nach der Art der Speisung sieben Typen von Flüssen, die aber selten rein vorkommen:

1. Flüsse, die ihr Wasser nur von der Schneeschmelze in der Ebene erhalten (polarer Typus); 2. solche, die ihr Wasser vorwiegend nur von der Schneeschmelze im Gebirge, zum kleinsten Teile vom Regen erhalten (= Flüsse der Trockengebiete, die von Hochgebirgen umgeben sind, wie Tarim, Amu- und Syr-darja); 3. Flüsse, die fast nur vom Regen gespeist werden (Nil, Kongo, Orinoco); 4. Flüsse, die zum großen Teil vom Regen gespeist werden, ihr Hochwasser aber von der Schneeschmelze in der Ebene oder im Mittelgebirge erhalten (Flüsse von Rußland, Schweden, im östlichen Deutschland); 5. Flüsse, die auch vorwiegend vom Regen gespeist werden, aber meist unbedeutende Schwankungen haben (Mittel- und Westeuropa, östliches Nordamerika); 6. solche vom Regen gespeiste, aber mit sehr bedeutenden Schwankungen, oft bis zum Versiegen (subtropischer oder mediterraner Typus, sog. Fiumare); 7. Flüsse der nahezu regenlosen Gebiete (Wadi-Typus).

Die Wasserstandbeobachtung geschieht gewöhnlich an geschützt angebrachten geteilten Latten oder Pegeln, deren Nullpunkt alljährlich auf seine unveränderte Höhenlage geprüft wird und die einmal täglich, meist um 12 Uhr mittag, bei Hochwasser auch mehrmals im Tag, abgelesen werden. Bessere Dienste leisten die selbstregistrierenden Pegel und die elektrischen Fernpegel, die aber noch ziemlich selten sind.

Die äußersten Grenzen, zwischen denen der Wasserstand, soweit bekannt, geschwankt hat, bestimmen den absoluten Spielraum; er beträgt an den deutschen Flüssen etwa 5—10 m. Doch sind die absolut höchsten Hochwässer oft schwer und unsicher zu bestimmen. Wichtig ist ferner die periodische Amplitude, d. i. der Unterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Monatsmittel, dann das mittlere Niedrig- und mittlere Hochwasser aus einer Reihe von Jahren. Der mittlere Wasserstand als das errechnete Mittel für einen bestimmten Zeitraum hat oft klimatologische

18) „Flüsse und Landseen als Produkte des Klimas", Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. 1885. — „Die Klimate der Erde", 1887, I, Kap. 8.

Bedeutung. Der am häufigsten eintretende Stand heißt Scheitelwert, gewöhnlicher Wasserstand jener, der an ebensoviel Tagen überschritten wird, als er nicht erreicht wird. Von Bedeutung ist die Konstruktion der sog. Dauerkurve, die die Dauer eines bestimmten Wasserstandes über dem Nullpunkt im Laufe eines Jahres erkennen läßt, für die Schiffahrt und viele Siedlungs- und landwirtschaftliche Fragen. Sowohl bei höchstem als bei tiefstem Wasserstand stellt sich zumeist ein durch mindestens zwei Tage andauernder sog. Beharrungszustand ein. Auf ihn beziehen sich die sog. korrespondierenden Wasserstände benachbarter Pegel, d. h. einem bestimmten, am oberen Ende einer Flußstrecke beobachteten Pegelstand entspricht ein bestimmter am unteren Ende, vorausgesetzt, daß dazwischen kein Zu- oder Abfluß und keine grundsätzliche Änderung des Querprofils stattfindet. Daher läßt sich auch bei fallendem oder steigendem Wasserstand aus dem Eintritt eines bestimmten Standes am oberen Pegel der voraussichtlich zu erwartende am unteren prognostizieren.

Außer der Kenntnis des Wasserstandes ist für viele Zwecke auch die Ermittlung der durch ein bestimmtes Querprofil in der Zeiteinheit abfließenden Wassermenge erforderlich, die auf Ausmessungen der Profilgröße und der Geschwindigkeit beruht und keine einfache Funktion des Wasserstandes darstellt.

Die mittlere Abflußmenge erhält man mit hinreichender Genauigkeit aus der sog. Konsumtionskurve, wobei die Pegelstände als Abszissen, die zugehörigen Wassermengen als Ordinaten aufgetragen werden; die mittlere Höhe der Kurve ergibt die mittlere Abflußmenge des Jahres. Für Vergleichszwecke ist besonders wertvoll die Bestimmung des spezifischen Abflusses oder der Ergiebigkeit, d. i. die von 1 qkm des Einzugsgebietes bei einem bestimmten Zustand der Wasserführung abfließende Wassermenge, ausgedrückt in l pro Sekunde. So ist der spezifische Abfluß bei:

| | Nied.-W. | Mittel-W. | Hochwasser |
|---|---|---|---|
| Weichsel bei Montau | 2,3 | 5,0 | 54 |
| Elbe bei Magdeburg | 1,0 | 5,3 | 45 |
| Rhein bei Köln | 4,6 | 14,4 | 71 |
| Rhône a. d. Durancemündung | 4,1 | 18,8 | 152 |

Man erkennt deutlich die weit größere Ergiebigkeit der Alpenflüsse, namentlich im Hochsommer wegen der Abschmelzung der

Gletscher, aber auch die aufspeichernde Wirkung der Alpenseen bei Niedrigwasser, während sie das Hochwasser mildern, also die Gegensätze abschwächen. Der spezifische Abfluß nimmt im allgemeinen stromabwärts ab, da das Einzugsgebiet rascher an Größe zunimmt als die absoluten Abflußmengen.

Die jährliche Periode der Wasserführung, in % der gesamten Jahresmenge für die einzelnen Monate ausgedrückt, läßt je nach den klimatischen Verhältnissen eine Reihe von Flußtypen erkennen, die sich zum Teil mit den von Woeikof unterschiedenen decken. Beim westeuropäischen Typus, zu dem auch die Nebenflüsse des Rheins in Deutschland gehören, zeigt sich das Maximum bereits im Winter, die ziemlich feucht und mild sind, so daß die in höheren Lagen gefallenen Schneemengen frühzeitig zum Schmelzen gelangen; das Minimum fällt in den Hochsommer wegen der starken Verdunstung und des großen Wasserverbrauchs der Pflanzenwelt; die Amplitude ist wegen der ziemlich gleichmäßigen Niederschlagsverteilung und der geringen Schneeaufspeicherung klein.

| Abflußmengen in % | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mosel bei Trier 1891–1900: | 16,3 | 13,8 | 11,9 | 7,2 | 5,9 | 4,5 | 3,2* | 3,3 | 3,8 | 7,9 | 8,5 | 13,5 |

Hingegen haben die Flüsse Osteuropas und Skandinaviens, aber auch alle Hochgebirgsflüsse und die fast nur durch die Schneeschmelze im Hochgebirge gespeisten Flüsse ihr Maximum im Sommer, das Minimum im Winter wegen der Schneedecke und des Abstehens der Quellen; überdies verstärken bei den Flüssen des kontinentalen Klimas die starken Sommerregen die sommerliche Wasserführung; die Amplitude ist stets sehr groß. In der Periode 1901—1910 betrug die Wasserführung bei:

| | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inn bei Innsbruck | 2,1 | 1,7* | 2,0 | 4,5 | 12,0 | 20,3 | 19,5 | 15,8 | 10,0 | 5,8 | 3,7 | 2,6 |
| Donau bei Wien | 6,0 | 5,3 | 7,6 | 10,3 | 13,2 | 12,3 | 10,9 | 9,2 | 8,7 | 6,1 | 5,1* | 5,3 |
| Indalself bei Bomsund | 2,5 | 2,0 | 1,9* | 2,3 | 13,8 | 27,9 | 17,0 | 8,9 | 7,7 | 7,4 | 5,1 | 3,3 |
| Wolga bei Samara | 5,5 | 4,1 | 4,8 | 16,0 | 29,0 | 11,9 | 5,4 | 3,9* | 4,3 | 4,8 | 4,1 | 6,1 |
| Tigris bei Bagdad | 3,2 | 9,9 | 12,4 | 21,1 | 19,4 | 12,4 | 7,1 | 3,5 | 2,8 | 2,1* | 2,8 | 3,3 |

Das Maximum verspätet sich um so mehr und ist um so ausgeprägter, je höher und je nördlicher das Quellgebiet liegt.

Beim mediterranen Typus mit regenarmen Sommern und Niederschlägen im Winterhalbjahr fällt das Minimum der Wasserführung in den Sommer, noch verstärkt durch die große Verdunstung, die Periode ist in erster Linie durch die der Niederschläge bestimmt; bei sehr regenarmen Sommern tritt bereits die Annäherung an den Fiumare-Typus oder an intermittierende Flüsse auf, z. B. im Innern Spaniens oder in Unteritalien. Die größten Extreme zeigen die in der Wüste selbst entstehenden und nur nach den vereinzelten, aber dann sehr heftigen Gewittergüssen Wasser führenden Rinnsale. Nur die Flüsse, die auch noch von der Schneeschmelze im Hochgebirge gespeist werden, haben im mediterranen Gebiet außer dem Regen- auch ein Schneeschmelzhochwasser, das sogar jenes übertreffen kann; so hat der Po ein höheres Juni- und ein kleineres Oktober-Hochwasser.

Modifikationen der jährlichen Periode treten im Laufe eines Flusses durch den Einfluß der aus verschiedenen Gebieten kommenden Nebenflüsse auf. Der Rhein (Abb. 13) ist bis zur mittelrheinischen Ebene ein echter Hochgebirgsfluß; weiter abwärts wird die Amplitude immer geringer, das Minimum verschiebt sich unter dem Einfluß von Neckar, Main und Mosel in den Herbst, das Hauptmaximum infolge der Schneeschmelze im Niedergebirge in den Februar, das sekundäre Maximum im Juni erhält sich noch bis Köln, bis endlich im Unterrhein die für die Schiffahrt so wertvolle Gleichmäßigkeit der Wasserführung eintritt.

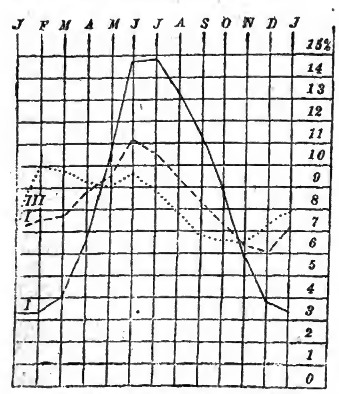


Abb. 13. Jährliche Periode der Wasserführung des Rheins 1891—1900. (*I* bei Stein, *II* bei Mannheim, *III* bei Köln.)

Auch die Flüsse der Tropen sind in ihrer Wasserführung durch die Regenzeiten bestimmt. Je näher ein Flußgebiet dem Äquator liegt, desto gleichmäßiger wird zumeist auch infolge der gleichmäßigeren Regenverteilung und der Aufspeicherung der Niederschläge im tropischen Urwald die Wasserführung.

Beim Amazonas kommt hinzu, daß seine Nebenflüsse von rechts und links jeweils im Sommer ihrer Halbkugel anschwellen und ihre Wellen durch Interferenz sich im Hauptstrom aufheben. Die Hauptfluten des Nils, die gerade zur Zeit der größten Trockenheit mitten in der Wüste für die Kultur so wichtig sind, werden durch den Blauen Nil infolge der in Abessinien im Frühsommer niedergehenden Regengüsse geliefert, während der Weiße Nil überhaupt eine viel geringere Wasserführung hat, zumal er viel Wasser in den Ufersümpfen verliert (Abb. 14 nach Pietsch zeigt den Einfluß der beiden Hauptquellflüsse auf den Nil).

Örtliche Verhältnisse, besonders die Bewaldung, vermögen die Schwankungen der Wasserführung erheblich zu beeinflussen. Daher reagieren die Flüsse mit zunehmender Entwaldung immer rascher auf die Niederschlagsverteilung und namentlich in Frankreich und Italien haben sich die Folgen der Waldverwüstung in verstärkten Wasserstandschwankungen geltend gemacht.

Physikalisch genommen sind Hochwasser Wellen, die durch eine Flußstrecke mit deutlichem Anfang und allmählich sich austönendem Ende hindurchgehen; dabei kombiniert sich die sog. primäre Welle des Hauptstromes in sehr mannigfacher und komplizierter Weise mit den Wellen der Nebenflüsse. Nur selten geraten alle Teilgebiete eines Stromgebietes gleichzeitig in Erregung, so daß sich ihre Wellen im Hauptstrom addieren, wie z. B. 1897 und 1899 im Donaugebiet. In der Regel bilden nur einige Teile des Stromgebietes gleichzeitig Wellen aus. Neben dem regelmäßigen Hochwasser der Jahresperiode gibt es immer noch im Laufe eines Jahres oft höhere, in den Wasserstandskurven sehr spitz erscheinende und schnell ablaufende Wellen, die durch abnorm starke Regenfälle, seltener durch vorübergehende Tauwetterperioden veranlaßt werden und infolge

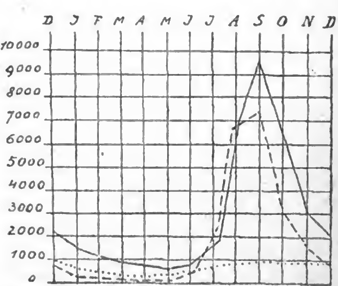


Abb. 14. Mittlere Wassermengen des Nils in m³/sek. (— Nil bei Wadi Halfa 1902—1908, — — Blauer Nil bei Khartum 1902—1908, ..... Weißer Nil bei Tanfikia 1904—1908.)

des gehemmten Abflusses oft sehr verheerend sind. Häufig sind sie mit einer bestimmten Wetterlage verbunden, z. B. in Süddeutschland mit der Zugstraße Vb der barometrischen Minima (Adria—Ungarn—Polen). Langandauernde intensive Landregen erzeugen sehr komplizierte Wellen von längerer Dauer und mit mehreren spitzen Scheiteln. Die Wellen der Schneeschmelze, die bei uns die Jahresperiode beherrschen, sind länger und flacher als die des Sommers, doch sind auch da Komplikationen möglich; so erzeugt stürmisch eintretende Schneeschmelze nach einem besonders schneereichen Winter eine spitze Vorwelle, die katastrophal wirken kann, worauf dann erst die lange Hauptwelle folgt. Neben diesen Schwellhochwässern gibt es noch Stauhochwässer, verursacht durch die Verstopfung des Flußbettes mit Eis; sie sind namentlich dann gefährlich, wenn sich im oberen Teil des Flusses bereits durch die Schneeschmelze ein gewöhnliches Frühjahrshochwasser einstellt, das sich vor dem Eisstand staut. Dadurch und durch andere Umstände kompliziert entstand u. a. das katastrophale Hochwasser an der Elbe 1888. An den tropischen Flüssen, namentlich in Ostafrika, erzeugen Pflanzenbarren an engen Stellen des Flußtales über 1 km lange, halbfeste Verstopfungen, nach deren Durchbruch ein rasch verlaufendes, oft verheerendes Stauhochwasser eintritt. Mangelhafter Abfluß entweder in verwilderter Stromstrecken oder in starken Verengungen des Bettes wirkt in ähnlicher Weise stauend im Hauptfluß und auch in den Nebenflüssen. Die Katastrophe von Szegedin 1879 wurde dadurch hervorgerufen, daß ein ungewöhnlich hohes Schwellhochwasser der Donau im Banater Durchbruch nicht zum raschen Abfluß gelangte und auf die Theiß stauend wirkte.

Im Längsprofil des Stromes selbst erscheint der Scheitel einer Hochwasserwelle als ein Gefällsbrechpunkt, wobei der stromabwärts gerichtete Abhang der Welle steiler ist als der stromaufwärts gerichtete, doch ist auf beiden Seiten Gefälle stromab vorhanden. Die Zeit des Steigens ist also kürzer als die des Fallens. Meist passiert nur ein Scheitel ein Profil; das Hinzutreten der Wellen der Nebenflüsse bewirkt aber zahlreiche Aufbuckelungen auf dem Rücken der Welle. Oft holt der zweite Wellenscheitel den vorangehenden ein und aus ihrer Vereinigung entsteht ein langandauernder Hochstand. Die Dauer der Beharrung des Scheitels

an derselben Stelle kann dann 2—3 Tage sein. Im weiteren Verlaufe stromabwärts verflacht sich die Welle zumeist mit zunehmendem Querschnitt des Bettes, der Scheitel senkt sich. Die sehr hohen Septemberwellen der Elbe in Böhmen von 1890 oder von Mai 1872 verliefen in Magdeburg schon ganz ungefährlich.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Wellenscheitels ist im allgemeinen bei hohen Wellen größer als bei niedrigen, z. B. an der Elbe zwischen Torgau und Wittenberg im Mittel vieler Fälle 2,7 km pro Stunde; am Rhein zwischen Basel und Straßburg 8,2 km, zwischen Straßburg und Bingen aber nur 3,4 km; an der Donau: Ulm—Passau 3,4 km, Passau—Wien 4,8 km, Wien-Theben 0,6—0,7 km; am Nil unterhalb Chartum 6 km. Jedenfalls ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle wesentlich größer als die mittlere Oberflächengeschwindigkeit des Flußwassers, aber in hohem Maße von der Form des Bettes und vom Gefälle abhängig.

Die Ausuferungen der Flüsse haben in den meisten Kulturstaaten verschiedene Hochwasserschutzbauten ins Leben gerufen. In Holland besteht schon seit 1328 eine Deichordnung, doch hat die fortgesetzte Verengung des Profils auch eine Erhöhung der Hochwässer zur Folge. An der unteren Elbe ist das Überschwemmungsgebiet von 6172 qkm auf 1528 qkm eingeschränkt worden. Die meisten Flußregulierungen dienen zugleich auch dem Hochwasserschutz, indem sie dem angeschwollenen Fluß einen rascheren Ablauf gewähren. In anderen Fällen sind Entlastungs- oder Umlaufkanäle mit beweglichen Wehren angelegt. Als natürliche Retentionsbecken dienen die Seen. An vielen Flüssen besteht ein Hochwassernachrichtendienst mit Prognose; an der Elbe ist in der Mehrzahl der Fälle die Prognose auf sechs Tage mit einer Genauigkeit von 20 cm ausgestattet.[19])

Säkulare Schwankungen des Wasserstandes ergeben sich aus langjährigen Beobachtungen und zeigen, sobald man die Beobachtungen zu fünfjährigen Mitteln zusammenfaßt, eine Übereinstimmung mit den Niederschlagsschwankungen, die nach E. Brückner eine etwa 35jährige Periode haben.[20]) Im 19. Jahrhundert waren

19) Vgl. Keller, Die Hochwassererscheinungen in den deutschen Strömen, Jena 1904, und J. Pich, Die Wasserstandsprognose. Budapest 1895 u. 1897, ferner: Beiträge zur Hydrographie Österreichs II. IV. VII.

20) Brückner, Klimaschwankungen seit 1700, Pencks Geograph. Abh. IV. 2. 1890.

| | Moldau | Rhein | Weichsel |
|---|---|---|---|
| Wasserarme Jahresgruppen: | 1832—1840 | 1818—35 | 1816—35 |
| | 1856—1870 | 1854—71 | 1856—75 |
| Wasserreiche " : | 1841—1855 | 1836—53 | 1836—55 |
| | 1876—1890 | 1872—99 | 1876—95 |

Es zeigen also die genannten Flüsse ungefähr dasselbe Verhalten, doch besteht in der Begrenzung der Perioden keine sehr gute Übereinstimmung. Die Größe der Schwankung beträgt etwa 45 bis 70 cm. — Die früher oft wiederholte Behauptung einer konstanten Senkung des Wasserspiegels mancher Flüsse als Folge einer allgemeinen Austrocknung oder des fortschreitenden Ackerbaues, der Trockenlegung der Moore oder der Entwaldung hat sich als irrig erwiesen. Die stattgefundenen Veränderungen vollziehen sich im Sinne eines Gefällsausgleiches auf beschränkten Strecken infolge von Umbauten, von denen auch die Pegel betroffen werden können. Auch Flußregulierungen bewirken einseitige Veränderungen des Wasserstandes, indem Eindeichungen den höchsten Wasserstand erhöhten, Durchstiche ihn herabsetzten und Baggerungen auch den Niedrigwasserstand beeinflußten.

b) **Die Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluß und Verdunstung.** Der Vergleich zwischen den jährlichen Niederschlags- und Abflußmengen ergibt eine von Ort zu Ort verschieden große Differenz, die zum größten Teile auf Kosten der Verdunstung, nur zum kleinen auf Kosten der Pflanzenwelt kommt, die zwar viel Wasser verbraucht, es aber durch Transpiration und Verwesung abgestorbener Pflanzenteile größtenteils der Verdunstung wieder zuführt. Der auf den Abfluß entfallende Prozentsatz des Niederschlags heißt *Abflußfaktor*; er ergänzt sich somit mit dem *Verdunstungsfaktor* zu 100. Doch ist zu beachten, daß Niederschlags- und Abflußhöhe im Laufe eines Kalenderjahres nicht streng zusammengehören. Denn zum Abfluß gelangt zu Beginn eines Jahres nicht nur ein Teil des noch im Boden aufgespeicherten Sickerwassers des Vorjahres, sondern namentlich die noch in Form von Schnee oder Gletschereis im Hochgebirge aufgespeicherten Niederschläge des Vorjahres und sogar früherer Jahre. Daher *kann* in manchen Monaten und auch Jahren der Abflußfaktor über 100% erreichen; doch gleichen sich diese Verschiebungen im Laufe mehrerer Jahre wenigstens im Jahresmittel aus.

Die Abflußverhältnisse von Mitteleuropa sind von Penck[21]) und Keller[22]) in Form von Gleichungen von Kurven ersten Grades dargestellt worden, so daß Abfluß und Verdunstung als lineare Funktionen des Niederschlags erscheinen; doch gilt dies streng genommen nur für Niederschläge über 500 mm. In Gruppen vereinigt ergeben sich nach Keller für den Abflußfaktor:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. Ostgruppe (Memel, Pregel, Weichsel) | 28,0% | 1.—3. Nördliches Mitteleuropa | 27,9% |
| 2. Übergangsgruppe (Oder, Elbe) | 26,0 „ | 4. Alpenstromgruppe (Donau, Rhein) | 52,2 „ |
| 3. Westgruppe (Weser, Ems) | 35,2 „ | 5. Gesamtes Mitteleuropa | 37,5 „ |

Es wächst die Abflußhöhe mit steigendem Niederschlag um ungefähr denselben Betrag und es steigert sich der Abflußfaktor von rund $^1/_4$ des Niederschlags in der Ebene auf über $^1/_3$ im Mittelgebirge; für echte Alpenflüsse (Traun, Etsch) beträgt er bereits rund 65%.[23])

Während also in Mitteleuropa eine Mehrung der Niederschläge auf den Abfluß ohne wesentliche Beeinflussung durch das Sonderverhalten der einzelnen Flußgebiete in orographischer und geologischer Hinsicht einwirkt, ist die gleichzeitige Zunahme der Verdunstungshöhe wesentlich kleiner. Auf diese wirken die genannten Einflüsse viel stärker ein und bestimmen das Sonderverhalten jedes Flußgebietes. Bei gleich großen Niederschlägen entscheidet daher über die Größe des Abflusses der Schutz gegen Verdunstung; bei erheblich verschiedenen Niederschlagsmengen zweier Gebiete kann aber bei einerseits kleinen Niederschlägen und gutem Schutz gegen Verdunstung (z. B. durch große Durchlässigkeit des Bodens) und andererseits großen Niederschlägen und schlechtem Schutz gegen Verdunstung dasselbe Abflußverhältnis sich herausstellen. So ist der Abflußfaktor für die Flüsse der Nordseite des Erzgebirges (49%) fast ebenso hoch wie für die Theiß[24]) (51%) trotz recht verschiedenen Niederschlagsverhältnissen.

21) Geogr. Abh. V. 5, 1896 und Verbandschr. D. Ö. U. Verb. f. Binnenschiff. 1897.

22) Jb. f. d. Gewässerkunde Norddeutschl. I. 4, 1906 u. Geogr. Zeitschr. 1906. — Vgl. auch: Ule, Forsch. z. d. Landesk. XIV. 5, 1903 und Schreiber, Abh. sächs. meteorol. Inst. 1897, H. 2.

23) Beitr. z. Hydrogr. Ö. 7. H. 1904 u. Goldberg, Geogr. J.-Ber. aus Ö. XI. 1915.

24) Vujević, Geogr. Abh. VII. 4, 1906.

Es nimmt ferner der Abflußfaktor in Europa von W nach O mit zunehmender Kontinentalität und Verdunstung, namentlich im Sommer, zu (Ems: 31%, Oka 21%). Auffallend geringe Abflußfaktoren ergeben die tropischen Flüsse, eben wegen der hohen Verdunstung namentlich bei geringem Gefälle und des Wasserverlustes in den Sumpf- und Urwaldgebieten. In Nicaragua entspricht einer Niederschlagshöhe von 1500 m ein Abflußfaktor von bloß 27%[25] (in Mitteleuropa von über 68%); im Gebiet des Blauen Nils ist bei einer Regenhöhe von 1300 mm der Abfluß bloß 20,1%.

In der Jahresperiode erreicht der Abflußfaktor in Mittel- und Osteuropa seinen höchsten Wert stets zur Zeit der Schneeschmelze und geringer Verdunstung, seinen geringsten Wert im Sommer wegen der hohen Verdunstung und der Verluste durch die Vegetation. In den Alpen ist die Amplitude wegen der langandauernden Schneeschmelze wesentlich geringer, in Osteuropa wegen der stürmischen Schneeschmelze und der hohen Verdunstung im Sommer sehr groß. In den Tropen fallen die Maxima und Minima von Niederschlags- und Abflußmenge ohne bedeutende Verspätung zusammen und zwar um so näher, je höher und je gleichmäßiger der Niederschlag verteilt ist. In Nicaragua aber ist der Abflußfaktor in der winterlichen Trockenzeit über 100% trotz gleichzeitiger sehr hoher Verdunstung. Die Ursache kann nur in der lange andauernden Aufspeicherung von Wasser im Boden des Urwaldgebietes liegen, der dann erst die in der Regenzeit aufgenommenen Wassermengen wieder abgibt. Daher sind die Schwankungen des Wasserstandes der Flüsse geringer als man nach denen des Niederschlags erwarten sollte. Die geschilderten Verhältnisse zeigt die folgende Tabelle:

| Abflußfaktor | Winter | Frühling | Sommer | Herbst | Jahr |
|---|---|---|---|---|---|
| Deutsches Mittelgebirge | 44,4 | 43,6 | 13,8 | 22,7 | 28,3% |
| Nordalpen | 54,4 | 76,0 | 42,8 | 51,9 | 53,3 |
| Oberer Dnjepr | 28,5 | 76,2 | 11,2 | 11,9 | 27,3 |
| Theiß bei Szegedin | 30,2 | 45,6 | 19,4 | 17,1 | 27,6 |
| | | | Mai—Juli | | |
| Nicaragua oberh. S. Carlos | 101,0 | — | 22,6 | — | 30,6 |

25) Merz, Beitr. z. Klimatologie und Hydrographie Mittelamerikas, Leipzig 1907.

Unter den den Abfluß bestimmenden Faktoren käme noch die Speisung durch Grundwasser in Betracht, die sich aber quantitativ der Beobachtung entzieht. Der Einfluß der Versickerung von Regenwasser ist so aufzufassen, daß dadurch kein Wasser dauernd verloren geht, sondern nur mit mehr oder weniger großer Verspätung zum Abfluß gelangt. In wenig durchlässigem Boden ist natürlich der Anteil des Sickerabflusses samt Quellen am Gesamtabfluß kleiner als in durchlässigem Gestein. Im oberen Neckargebiet beträgt er nach Gravelius 64% (gegenüber 36% des offenen Abflusses), im Kalkgebiet der Pegnitz 75%, in Böhmen sinkt er nach Penck auf 40% des Gesamtabflusses. In den reich kultivierten Trockengebieten erfährt der natürliche Abfluß eine nicht unbeträchtliche Minderung durch die Bewässerungsanlagen, die aber auch wieder der Verdunstung zukommt. Eine genauere Erfassung dieses Verlustes ist bisher nicht versucht worden.

Die Abflußgleichungen ermöglichen nach Penck auch die Beantwortung der Frage, bei welcher mittlerer Niederschlagshöhe in einem Flußgebiet Abflußlosigkeit eintreten muß. In Mitteleuropa müßte dies bei einem Niederschlag von unter 420 mm, im Moldaugebiet bei unter 370 mm, im böhmischen Elbegebiet bei unter 280 mm der Fall sein.

## 3. Die physikalischen Eigenschaften des fließenden Wassers.

a) **Geschwindigkeit und Art der Bewegung.** Die Messung der Geschwindigkeit fließenden Wassers geschieht entweder durch sog. Schwimmer, Körper, die der Strömung auf einer bestimmten Strecke frei überlassen werden, aber meist nur angenäherte Werte ergeben, oder durch an gewissen Punkten fest aufgestellte verschiedene Meßgeräte. Unter diesen hat namentlich der Woltman'sche Flügel (1790), bei dem ein gegen die Strömung eingestelltes Flügelrad vom Wasser in Bewegung gesetzt wird und diese auf ein Zahnrad überträgt, weitgehende Verwendung und Vervollkommnung erfahren. Die Beobachtung geschieht in einem fest ausgesteckten Profil in mehreren Vertikalen, die gegen die Ufer hin dichter beieinander liegen, und in bestimmten Höhen über der Flußsohle; gleichzeitig wird auch stündlich der Wasserstand abgelesen. Die Produkte aus Peiltiefe einer Vertikalen und der mittleren Geschwindigkeit in einer Vertikalen er-

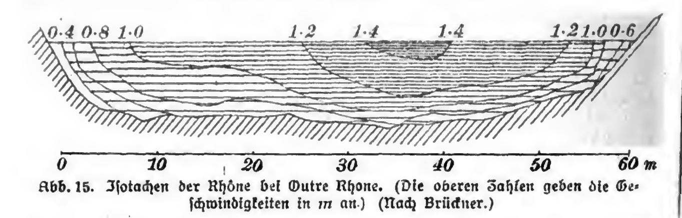



Abb. 15. Isotachen der Rhône bei Outre Rhone. (Die oberen Zahlen geben die Geschwindigkeiten in *m* an.) (Nach Brückner.)

geben die Abflußmengen längs derselben. Der Inhalt der so gewonnenen Wassermengenkurve ergibt die gesamte Wassermenge $Q$, die durch das Profil $f$ in der Zeiteinheit hindurchfließt; $v = \frac{Q}{f}$ gibt die mittlere Profilgeschwindigkeit. Verbindet man in dem ausgemessenen Querprofil die Punkte gleicher Geschwindigkeit, so erhält man das System der Isotachen, deren Lage und Form von der Querschnittsform abhängt (Abb. 15).

Da eine derartige vollständige Messung sehr zeitraubend und kostspielig ist, benutzt man zur Ermittlung der mittleren Profilgeschwindigkeit ($v_m$) die empirische und annähernd richtige Formel mit Hilfe der größten Oberflächengeschwindigkeit

$$(v_{max}): v_m = 0{,}82\ v_{max} - 0{,}04\ v_{max}^2.$$

Ferner ergab sich das Verhältnis zwischen der mittleren und der Oberflächengeschwindigkeit in den einzelnen Vertikalen zu: $\frac{v_m}{v_o} = 0{,}836$. Endlich ergibt sich, daß die mittlere Profilgeschwindigkeit $v_m$ annähernd gleich ist der mittleren Oberflächengeschwindigkeit.

Die Schwierigkeiten der direkten Messung haben schon früh zu dem Bestreben geführt, aus den Dimensionen des Profils und dem Gefälle die Geschwindigkeit zu berechnen. Darauf beruht die Formel von Chézy (1755): $v = k\sqrt{RJ}$, worin $k$ ein von der Reibung abhängiger Faktor, $R$ die sog. hydraulische Tiefe, d. h. das Verhältnis der Profilfläche zum benutzten Umfang, $J$ das Gefälle bedeutet. $k$ schwankt aber je nach der Natur des Flußbettes und den Widerständen der Strömung im Bett zwischen sehr weiten Grenzen; auch die Voraussetzung einer gleichförmigen Bewegung und daß keine Arbeit zum Transport von Geschieben verwendet werde, trifft in der Natur nicht zu. Die Formel hat daher nur für einfache künst-

liche Gerinne Geltung. Nicht viel mehr leistet die von Bazin: $v = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{R}} \sqrt{RJ}$, worin $\gamma$ je nach der Beschaffenheit des Bettes wieder sehr variabel ist. Von der Voraussetzung eines normalen Flusses mit regelmäßig zunehmender Abflußmenge von der Quelle bis zur Mündung und abnehmendem Gefälle geht das Verfahren von Siedek aus.[26] Bei einem solchen idealen Flusse stehen Spiegelbreite ($b$), Gefälle und mittlere Tiefe ($t$) in einem bestimmten Verhältnisse zu einander, so daß sich für die Fälle, für welche diese Beziehungen gelten, und für $b > 10\,m$ die Formel ergab: $v = \frac{t\sqrt{J}}{\sqrt[20]{b} \cdot \sqrt{0{,}001}}$, wozu noch eine Reihe von Korrekturen für die wirklichen Fälle kommen. Die Überprüfung an 537 Fällen ergab einen mittleren Fehler gegenüber der Beobachtung von bloß $\pm 3\%$. Jedenfalls aber darf die Berechnung der mittleren Geschwindigkeit aus den Querschnittsdimensionen und dem Gefälle nur auf Strecken mit gleichbleibender Breite und mittlerer Tiefe und ungefähr geradlinigem Sohlengefälle angewendet werden.

Die Beobachtungen zeigen, daß die Geschwindigkeit mit der Tiefe und dem Gefälle zunimmt, aber im einzelnen das Ergebnis einer Reihe von teils beschleunigenden, teils verzögernden Einzelwirkungen ist. An der Oberfläche des Flusses nimmt sie auf geraden Strecken von den Ufern gegen die Mitte zu, aber ganz ungesetzmäßig und abhängig von den Tiefenverhältnissen der Sohle. Die Linie der größten Oberflächengeschwindigkeiten auf einer Strecke gibt den Stromstrich an; er ist die Projektion des Talwegs auf die Oberfläche. In gekrümmten Strecken nähert sich der Stromstrich dem konkaven Ufer, verlegt sich aber bei hohem Wasserstand gegen die Strommitte. Bei geraden Strecken und an den Übergängen wird die Lage des Stromstriches unsicher und verläuft nicht selten in getrennten Zweigen. Die größte Geschwindigkeit des ganzen Profils ist zumeist die größte Oberflächengeschwindigkeit. In geraden Strecken ist die Geschwindigkeit im Stromstrich kleiner als in den Krümmungen. Die Abhängigkeit der Geschwindigkeiten vom Wasserstand zeigen folgende Zahlen vom Rhein bei Köln:

26) Studien über eine neue Formel zur Ermittlung der Geschw. usw. Wien 1901.

| Wasserstand | Gefälle ‰ | Breite $m$ | mittlere Tiefe | $V_m$ | $V^o_m$ | $V_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| + 0,64 $m$ | 0,256 | 352 | 1,53 | 1,305 | 1,37 | 1,69 |
| + 3,76 | 0,216 | 446 | 4,16 | 1,508 | 1,60 | 2,25 |

Dem Ansteigen des Wasserstandes, also der Zunahme der strömenden Masse, entsprach eine ansehnliche Beschleunigung der Bewegung.

Die Untersuchungen über die Geschwindigkeitsabnahme nach der Tiefe haben nach Jasmund[27]) in Elbe und Rhein ergeben, daß die Geschwindigkeitskurve eine logarithmische Linie ist, d. h. Teilchen, die in einem Zeitpunkt vertikal unter einander liegen, befinden sich nach einer bestimmten Zeit nach dem Krümmungsgesetz einer logarithmischen Kurve ($y = a + b \cdot \ln x$) mit vertikaler Achse angeordnet; die größte Geschwindigkeit liegt an der Oberfläche, an der Sohle ist sie Null. Wichtig ist, daß die Tiefe, in der die mittlere Geschwindigkeit einer Vertikalen angetroffen wird, in 0,632 der ganzen Tiefe unter der Oberfläche liegt oder angenähert: $v_m = v_o \cdot 0{,}6\,t$. Man braucht also nur eine Messung in 0,6 der Tiefe zu machen und erhält damit die mittlere Geschwindigkeit in einer Vertikalen.

Infolge der leichten Verschiebbarkeit der Wasserteilchen und der Rauheit der Wandungen ist die Bewegung des Flußwassers keine einfach stromabwärts fortschreitende und geradlinige, sondern eine unregelmäßig pulsierende oder rollende, indem die Teilchen bald nach oben oder unten, bald nach rechts oder links abgelenkt werden, also auch Seitenbewegungen entstehen. Im Gegensatz zu früheren Ansichten zeigten genaue neuere Beobachtungen, daß bei fallendem Wasserstand das Wasser eine seitliche Komponente vom Ufer gegen die Mitte besitzt, bei steigendem von der Mitte gegen die Ufer drängt. Bei einem Beharrungszustand fehlt aber eine solche ausgeprägte Transversalströmung, und es ist in geraden Strecken die Flußoberfläche eine Horizontale. Hingegen steht in gekrümmten Strecken die Oberfläche am konkaven Ufer höher als am konvexen, woraus sich ein Querstrom nach diesem hin ergibt. Bei raschen und starken Änderungen des Wasserstandes sind die Transversalbewegungen so stark, daß sich infolge der Kombination von

27) Veränder. d. Geschwindigkeiten im Querschnitt eines Stromes. Z. f. Bauwesen 1897.

Längs- und Querbewegung das Wasser in langgezogenen Spiralen bewegt. Außerdem bestehen auf- und absteigende Bewegungen, indem das langsamer bewegte Bodenwasser gegen die Oberfläche steigt und umgekehrt. Wirbel bestehen aus Wasserteilchen, die sich um eine stromabwärts fortschreitende vertikale Achse drehen und in absteigender Spirallinie sich der Achse nähern. An der Oberfläche bilden sie daher eine trichterförmige Einsenkung. Sie können nur dort entstehen, wo horizontal nebeneinander liegende Teilchen sehr verschiedene Geschwindigkeit haben, also namentlich in starken Krümmungen und an steilen Wandungen, wo die oberflächlichen Geschwindigkeiten stärker verzögert werden. Bei steigendem Wasserstand ist aber oft die ganze Oberfläche von Wirbeln überdeckt, wobei Haupt- und Nebenwirbel mit einander entgegengesetztem Drehungssinn aufeinander folgen. Sie besorgen die Verteilung des Wassers infolge der stets wechselnden Breiten und Tiefen, wirken auskolkend, wirbeln die Geschiebe auf und führen sie fort.

Von diesen fortschreitenden Wirbeln sind die mit fixer Achse zu unterscheiden, die sog. Strudel, z. B. in der Donau bei Grein, im Eisernen Tor, der Whirlepool im Niagara. Über einzelnstehenden Hindernissen, z. B. Blöcken an der Sohle entstehen Wallungen, bei durchlaufenden Schwellen Überstürze; vor Hindernissen, die vom Ufer vorspringen, rückläufige Bewegungen, sog. Wasserschwalle, und Gegenströmungen. Werden aufragende Hindernisse überwaschen und nicht umflossen, so spricht man von Wildwassern. Alle derartigen Pulsationen der Bewegung sind am stärksten an der Sohle, am schwächsten an der Oberfläche, am Ufer stärker als im Stromstrich, bei kleinen Geschwindigkeiten merkbarer als bei großen. Sie sind die Rückwirkungen des Widerstands der Flußsohle und der verschiedenen Reibungswiderstände gegen die Bewegung des Wassers.

**b) Temperatur- und Eisverhältnisse.** Über die Temperaturverhältnisse der fließenden Gewässer besteht von Einzelbeobachtungen abgesehen nur die auf Mitteleuropa beschränkte Verarbeitung aller Beobachtungen von A. E. Forster.[28] Was zunächst die Beziehungen zwischen Luft- und Wassertemperaturen anbelangt, so lassen sich die Flüsse in drei Gruppen unterscheiden:

28) Geograph. Abhandl. V. 4, 1894.

a) Gletscherflüsse sind nur im Winter wärmer als die umgebende Luft, sonst aber und namentlich im Sommer und daher auch im Jahresmittel wesentlich kälter; denn im Winter haben sie die gewöhnliche Quelltemperatur, in den übrigen Jahreszeiten geschieht die Speisung vornehmlich durch das Schmelzwasser; z. B.

| Differenz Wasser—Luft: | Winter | Frühling | Sommer | Herbst | Jahr |
|---|---|---|---|---|---|
| Salzbach bei Salzburg ..... | 4,1 | — 1,5 | — 5,7 | — 0,9 | — 1,0 |

Ist in einen solchen Flußlauf ein See eingeschaltet, so ist der Fluß beim Austritt aus dem See wesentlich wärmer als bei seinem Eintritt; denn hier sinkt sein kaltes Wasser in die Tiefe, während dort das warme Oberflächenwasser des Sees abgezogen wird. Daher ist beim Ausfluß die Flußtemperatur fast gleich der des Sees und die Differenz gegen die Lufttemperatur im Sommer wesentlich kleiner, z. B.:

| Differenz Wasser—Luft: | Winter | Frühling | Sommer | Herbst | Jahr |
|---|---|---|---|---|---|
| Rhône bei Genf (1853—1890) | 4,6 | — 0,2 | — 0,9 | 3,5 | 1,8 |

b) Die nicht von Gletschern gespeisten Gebirgsflüsse haben an der Quelle das ganze Jahr hindurch fast konstante Temperatur; daher ist die Luft im Winter kälter, im Sommer bedeutend wärmer als das Quellwasser; z. B.:

| Differenz Quelle—Luft: | Winter | Frühling | Sommer | Herbst | Jahr |
|---|---|---|---|---|---|
| Aachquelle bei Memmingen .. | 11,0 | — 0,2 | — 6,6 | 1,8 | 1,5 |

Die Differenzen sind also viel extremer als bei Gletscherflüssen. Aber schon 3 km weiter abwärts hat sich die Aach im Winter durch Berührung mit dem Boden und Zufuhr von Schmelzwasser so abgekühlt, daß ihr Überschuß gegen die Lufttemperatur im Winter nur mehr 5° beträgt.

c) Die dritte Gruppe umfaßt jene Flüsse, die das ganze Jahr wärmer sind als die Luft; es sind das Tieflandflüsse mit geringem Gefälle und geringer Geschwindigkeit, so daß Sonnenstrahlung und Luftwärme intensiver wirken können; auch kleine Bäche, die leicht durchwärmt werden können, gehören hierher:

| Differenz Wasser—Luft: | Winter | Frühling | Sommer | Herbst | Jahr |
|---|---|---|---|---|---|
| Oder bei Breslau ......... | 1,6 | 0,9 | 1,1 | 0,8 | 1,1 |
| Elbe bei Lobositz......... | 0,5 | 1,5 | 2,6 | 1,3 | 1,5 |
| Seine bei Paris .......... | 2,0 | 2,4 | 3,1 | 2,7 | 2,5 |
| Themse bei Greenwich....... | 0,2 | 0,7 | 1,0 | 1,1 | 0,8 |
| Donau bei Dillingen ....... | 5,0 | 3,0 | 1,9 | 2,2 | 3,0 |
| Wienfluß bei Wien ........ | 0,7 | 1,5 | 2,4 | 1,5 | 1,5 |

Bei den echten Tieflandflüssen (Elbe, Seine, Themse) ist der Unterschied im Sommerhalbjahr wesentlich größer als im Winterhalbjahr, andere zeigen das entgegengesetzte Verhalten und nähern sich bereits den Gebirgsflüssen, z. b. die Donau. In seinem Verlauf kann ein Fluß seinen Charakter auch in dieser Hinsicht ändern. Die Donau verhält sich im Oberlauf wie ein Tieflandfluß, bei Wien bereits wegen der von den Nebenflüssen zugeführten Schmelzwasser wie ein Gebirgsfluß. Die Flußtemperatur einer Station stellt sich also als die Funktion des Klimas des ganzen oberhalb davon gelegenen Einzugsgebietes und seiner geographischen Beschaffenheit dar.

In der Jahresperiode zeigt die Flußtemperatur meist vollkommene Übereinstimmung mit der Lufttemperatur; es fällt also das Maximum in den Juli, das Minimum in den Januar. Hingegen sind bei Seeausflüssen ebenso wie bei den Seen selbst die Extreme um einen Monat verspätet; bei Quellflüssen ist die Verzögerung ebenso wie bei den Quellen noch größer, bis März, bzw. September. Die Amplitude der Schwankung ist natürlich immer viel kleiner als bei der Luft.

Die Veränderlichkeit der Tagesmittel ist im Gegensatz zu der der Lufttemperatur am kleinsten im Winter, da ja die Temperatur nicht unter 0° sinken kann und die Sonnenstrahlung dann auf das Wasser viel geringeren Einfluß hat; die Wintertemperaturen der Flüsse sind also viel beständiger als die Sommertemperaturen. Ferner nimmt die Veränderlichkeit der Flußtemperaturen ebenso wie die der Luft mit der Kontinentalität zu.

Der größte Betrag der interdiurnen Veränderlichkeit erreicht in Mitteleuropa 5°. Ausnahmsweise kommen an der Rhone bei Genf solche von 8—10° vor, wenn der Südwind das warme Oberflächenwasser abtreibt und daher kühleres Tiefenwasser zum Abfluß kommt. Der Nordwind hingegen treibt das warme Wasser zur Mündung und bewirkt im Sommer eine Temperaturzunahme, im Winter eine allerdings viel kleinere Temperaturabnahme.

Das Eis der Flüsse. Sobald die ganze Wassermasse eines Flusses auf 0° abgekühlt ist, wird die Eisbildung möglich; doch ist die bis zu dieser Abkühlung erforderliche Zeit von der Stärke des Frostes, der Temperatur vor Eintritt des Frostes und der Größe der Wassermasse abhängig. Kleinere Wasserläufe kühlen

sich früher ab, daher stammt das erste Eis, das auf einem Fluß erscheint, meist von den kleinen Nebenflüssen. Über den Bildungsprozeß des Flußeises gehen die Ansichten noch ziemlich auseinander.[29]) Sicher ist, daß die Eisbildung keineswegs nur in ruhigem Wasser vor sich geht. Wichtig sind ferner die das Wasser erfüllenden feinen Sinkstoffpartikel, die die festen Ausgangspunkte für den Kristallisationsvorgang abgeben; daher liefern im allgemeinen trübe Flüsse mehr Eis als klare. Zuerst entsteht auf der Flußoberfläche der lockere Eisdust oder Tost durch Vereinigung der Eiskristalle und -täfelchen, bei weiterer Abkühlung verwachsen die locker gefügten Stücke zu festen Schollen. Rand- oder Ufereis in ruhiger Lage bildet sich erst dann, wenn die Adhäsion des Eises am Ufer größer ist als die Stoßkraft des Wassers. Es besteht entweder aus langen, sich kreuzenden Eisnadeln, über die sich durch Überflutung eine neue Eisschicht lagert, oder es ist bei ruhiger Entwicklung glatt, durchsichtig und stengelig wie Teicheis. Diese Art bildet sich erst bei tieferen Temperaturen und kann sich allmählich über den ganzen Fluß ausdehnen und ihn überdecken. Solange nur Tost oder einzelne Schollen vorhanden sind, spricht man vom Eisrinnen; im weiteren Verlauf unterscheidet man Eisgang, Eisstand und Eisstoß oder Eisaufbruch. Bei Eisgang treiben auf der Oberfläche dicht aneinander Schollen, die mit zunehmendem Frost größer und dicker, aber bei uns selten über 50 cm dick werden; durch drehende Bewegung runden sie sich ab, in der Strommitte frieren sie oft zu mehreren 100 qm großen Tafeln zusammen. Sobald der Strom bereits in voller Breite mit Eis geht, genügt ein geringfügiger Umstand, z. B. eine scharfe Krümmung, Einengungen, Untiefen, Sandbänke, Stauwehren oder Brücken, um das Eis zum Stillstand zu bringen. Bei den deutschen Strömen wird aber die Bildung des Eisstandes gewöhnlich an der Mündung durch die stauende Wirkung der Flut oder die ruhige Meeresfläche eingeleitet. Hier bildet sich bei andauerndem Frost ein fester Zusammenhang zu sog. Siggeis, das Ebbe und Flut hin- und herschieben. Im übrigen Teil des Flusses schieben sich die Schollen sehr rasch schuppenartig zusammen, der Eisstand wandert stromaufwärts, er baut sich vor.

29) Vgl. Reymann, Die Eisverhältnisse der Mur und Drau, Mitt. k. k. Geogr. Ges. Wien 1910, wo auch die ganze Literatur.

Bei Flüssen, die nach wärmeren Gegenden fließen, z. B. den südrussischen, schreitet umgekehrt die Bildung des Eisstandes von der Quelle gegen die Mündung vor. Allgemein aber bewirkt die Bildung des Eisstandes ein Ansteigen des Wasserstandes. Denn das Wasser fließt unter dem Eise wie in einer geschlossenen Röhre und erfährt durch den Reibungswiderstand eine Verringerung seiner Geschwindigkeit und damit eine Verzögerung des Abflusses. Daher bildet sich vor dem Eisstand eine stromaufwärts vorrückende Staustrecke. In ihr verlieren die Eisschollen, noch bevor sie den Eisstand erreichen, an Geschwindigkeit und es bilden sich in der Eisdecke oft dauernde Lücken.

Tritt nun stärkeres Tauwetter ein, so ist die nächste Folge eine abermalige Hebung des Wasserstandes durch das Schmelzwasser. Es läuft eine Vorflutwelle abwärts; das Eis verliert seine Stützpunkte am Ufer und es beginnt der Eisaufbruch, der sich in umgekehrter Richtung fortpflanzt, als sich der Eisstand gebildet hat. Auch in den Nebenflüssen beginnt der Aufbruch meist früher. Nun wird die Eisdecke morsch, die Flutwelle zerbricht die Decke in Trümmer und das Eis rückt oft als eine mehrere Meter hohe Mauer unter Stauungen und Anstürmungen stürmisch vorwärts. Durch solche Stauungen verwandelt sich ein in vollem Gang befindlicher Eisaufbruch oft in eine sog. Eisversetzung, eine neuerliche Zusammenschiebung der aufgebrochenen Eismassen, die dann zu innerlichen Stauungen des Wassers und zu großen Verheerungen führt, die durch das hinzukommende Schmelzhochwasser noch verstärkt werden können. 1850 und 1855 kam es auf diese Weise an der unteren Elbe zu verwüstenden Deichbrüchen. Eine fast regelmäßige Erscheinung sind katastrophale Eisaufbrüche an den großen sibirischen Strömen.[30])

Außer dem Oberflächeneis gibt es an fast allen Flüssen auch das sog. Grundeis; nach Reymann entsteht es dadurch, daß bei starker Wärmeentziehung Eiskristalle von der Oberfläche durch Wirbel in die Tiefe gezogen werden und an der Sohle anhaften. Doch kann es sich auch unmittelbar am Boden durch Strahlung

30) Vgl. u. a. Rykatschew, Über den Auf- und Zugang der Gewässer des russischen Reiches, Petersburg 1887; Swarowsky, Die Eisverhältnisse der Donau in Bayern und Österreich, Geograph. Abhandl. V. 1, 1891, und die Angaben in den deutschen Stromwerken.

bilden, wie Keller an der oberen Oder beobachtete, oder durch Leitung, wenn feste Gegenstände, z. B. Brückenpfeiler bis zur Sohle reichen und dem Wasser soviel Wärme entziehen, daß sie einen Eisansatz ermöglichen. Wenn bei stärkerer Erwärmung an der Oberfläche bei vertikalen Strömungen das wärmere Wasser in die Tiefe gewirbelt wird, findet ein Losreißen des Grundeises vom Boden statt, das sog. Siggen. Es kann aber auch Grundeis, das in der Richtung der Strömung weiterwächst, sich von selbst losreißen und aufsteigen.

Nach Reymann ist für jeden Ort eine vom Gefälle und der Wassermenge abhängige Temperatur notwendig, um die erste Tostbildung zu ermöglichen (an der Mur bei Graz eine mittlere Nachttemperatur von — 7° C); die Erhaltung dieser Temperatur durch einige Zeit, etwa eine Nacht, ermöglicht dann auch die Erhaltung des Tostes. Es läßt sich daher die Eisbildung nicht prognostizieren und es haben die Mittelwerte für das Eintreten der Eisbildung an einem Flusse wegen ihres großen Spielraumes für Zwecke der Schiffahrt wenig Wert.

Eine Statistik der Eisführung nach längeren Perioden besteht bereits für zahlreiche Flüsse. Die mittlere Dauer der Eisbedeckung ist eine Funktion des Klimas und schwankt auch mit diesem, daher sind die Mittelwerte für verschiedene Perioden nicht streng vergleichbar. Die mittlere Dauer der Eisbedeckung beträgt an

| | | | |
|---|---|---|---|
| Rhein bei Köln | 21 Tage | Newa bei Petersburg, Wolga bei Kasan | 147 Tage |
| Donau zwischen Iller und Hainburg | 26 " | Ob bei Tomsk | 179 " |
| Donau bei Galatz | 37,5 " | Lena bei Kirensk | 203 " |
| Elbe bei Hamburg | 39 " | St. Lorenzstrom bei Quebec | 141 " |
| " " Magdeburg | 48 " | | |
| Weichsel bei Warschau | 60 " | | |

Doch ist von dieser mittleren Dauer der Zeitraum zu trennen, innerhalb dessen Eisbildung beobachtet wird; er beträgt z. B. an der oberen Donau in der Periode 1850—1890 50 Tage gegenüber 26 der wirklichen mittleren Eisbedeckung. Hier zeigte sich auch die Abhängigkeit der Dauer und des Termins der Eisführung vom Gefälle, indem in den Stromweitungen vermehrte und früheste Eisbildung auftritt. Auch Eisstoßbildungen treten an der Donau nur in verwilderten Strecken auf. Daher ist die Regulierung der Flüsse das beste Mittel gegen Eisstöße. Im Oberrhein stauten sich früher zwischen der Murg- und Neckarmündung regelmäßig gewaltige Eismassen an, ebenso im Niederrhein in Holland. Die französischen Flüsse leiden selten unter Eisgang; noch seltener bildet sich hier ein Eisstand aus.

### 4. Stromarbeit und Transport.

Die von den Flüssen bei der Bewegung geleistete Arbeit wird verbraucht einerseits zur Überwindung der inneren Reibung beim Fließen und der Reibung an Ufer und Sohle, andererseits zu Erosion und Transport festen Materials. Dieser Massentransport besteht 1. im Fortschieben und Fortrollen der am Boden befindlichen Geschiebe, 2. im Forttragen der im Wasser schwebenden oder suspendierten Teilchen, des sog. Schlammes, 3. im Fortfließen der im Wasser gelösten Substanzen oder Salze; durch Abnützung und Verkleinerung der Geschiebe und Zufuhr durch das oberflächlich abrinnende Wasser wird der Schlammgehalt beständig vermehrt; allmählich werden Teile des Schlammes gelöst und dem Salzgehalt des Quellwassers hinzugefügt.[31])

Die Dimensionen der vom Wasser in Bewegung gesetzten Geschiebe hängen von seiner Stoßkraft, also von seiner Geschwindigkeit ab und zwar wächst, wie bereits Airy gezeigt hat, das Volumen und auch das Gewicht der zu bewegenden Körper mit der 6. Potenz der Wassergeschwindigkeit, wie auch zahlreiche Experimente ungefähr bestätigt haben. Dieses Gesetz gilt auch für das Fortrollen von Geröllen, aber nur für die Bewegung in der Horizontalen; bei in der Richtung der Strömung geneigten Strecken ist der Widerstand wesentlich kleiner, bei aufsteigender Sohle größer, doch vermag das Wasser Geschiebe auch aufwärts zu transportieren. Form und Größe der Geschiebe sind an ein und derselben Stelle sehr verschieden; stets sind sie dachziegelartig gelagert mit dem Gefälle stromaufwärts, so daß sie mit der größten Flächenausdehnung den Boden bedecken. Durch die Beimischung von Sand und Schlamm wird die ganze Masse fest und zusammenhängend, so daß die Geschwindigkeit des Wassers weit über das theoretisch geforderte Maß steigen kann, ohne daß sich die Geschiebe bewegen. Erst bei steigendem Wasserstand beginnen sonst fest liegende Geschiebe sich zu lockern und namentlich bei Hochwasser bewegen sich einige Meter mächtige Geröll- oder Schotterströme stoß- und ruckweise vorwärts und haben die größte Be-

31) Die Herkunft des Flußgeschiebes und die Prozesse der Erosion und Akkumulation sind Gegenstand der Geomorphologie; hier sollen nur die quantitative Seite des Flußtransportes und die dadurch bewirkten Veränderungen der Flußsohle betrachtet werden.

deutung für die Ausgestaltung des Flußbettes und die steten Veränderungen der Sohlenform.

In schwach gekrümmten Flußläufen lagern **Kies- oder Sandbänke** abwechselnd dem einen und dem andern Ufer an und zwar stets der konvexen Seite. Ihre Bewegung wurde besonders auf der regulierten Rheinstrecke zwischen Basel und Mannheim genau verfolgt, wo sie rund 1000 m voneinander entfernt liegen und jährlich etwa 500 m fortschreiten, bei Hochwasser stärker als bei Niederwasser; ihre Zahl ist nahezu unverändert 210 auf 200 km, das Volumen einer Bank etwa 545 000 cbm. Zwischen jeder Bank und dem jenseitigen Ufer liegt ein tiefer Kolk, der ebenso wie die Bank allmählich abwärts rückt. Zwischen den Bänken

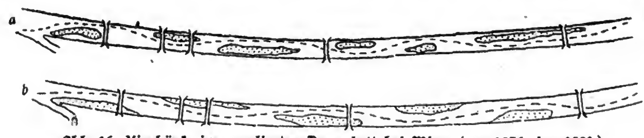



Abb. 16. Kiesbänke im regulierten Donaubett bei Wien. ($a = 1876$, $b = 1881$.) (Nach Lorenz v. Liburnau.)

windet sich der Talweg und der Stromstrich. Im Längsprofil zeigen sie ein flaches Ansteigen gegen den Strom, ein steileres Abfallen stromabwärts. Das Wandern geschieht geradeso wie bei einer Düne, indem der Kies auf der einen Seite hinaufgeschleppt wird, auf der andern Seite herunterrollt und hier solange liegen bleibt, bis die ganze Bank über diese Stelle Schicht für Schicht hinweggegangen ist. Ähnliche Verhältnisse herrschen an der regulierten Stromstrecke der Donau bei Wien (Abb. 16) und an vielen Strömen der Ebene; bei verwilderten Strecken aber liegen die Bänke wirr und oft mitten im Strom als Haufen, die den Stromstrich in mehrere Arme teilen. Bei allen diesen Flüssen besteht zwischen der Kraft des Stromes und dem Widerstand des Bettes noch kein Gleichgewichtszustand, die Sohlenform wandert. Sobald diese Entwicklung abgeschlossen ist, herrscht an der Sohle ein Beharrungszustand, Kolke und Übergänge verändern ihre Tiefe nur periodisch mit steigendem und fallendem Wasserstand. Das ist z. B. an der Elbe oberhalb von Wittenberge und an der unteren Rhône der Fall.

Die Menge der transportierten Gerölle steht in keiner direkten Beziehung zur Stoßkraft des Flusses, da sie auch von der Natur des Flußbettes abhängt; sie beträgt bei großen Flüssen nur einige $^1/_{100000}$ des Wasservolumens, viel mehr bei Gebirgsflüssen. 1851—1879 führte die Reuß jährlich 146000 cbm in den Urner See. Das jährliche Wachstum des Linth-Deltas im Walensee betrug 1811—1847: 80028 cbm, 1860 bis 1911 74000 cbm. Die Geschiebeführung hat nicht nur ihre jährliche Periode, sondern schwankt auch in längeren Perioden mit der Wasserführung. Flußabwärts nimmt bei sonst gleichen Umständen die Größe der Geschiebe durch Abnutzung rasch ab; am Rhein ist das Gewicht des größten Geschiebes unweit Basel 5870 kg, bei Mannheim nur mehr 0,1 kg.

Schwebende Substanzen werden im ganzen Flußquerprofil verfrachtet. Ihre Größe hängt außer von ihrem Volumen und der Dichte auch von der Wassertemperatur ab, da mit steigender Temperatur die Ausscheidung rascher erfolgt. Daher sind kalte Flüsse, besonders Gletscherbäche, sehr trübe. Das Bestreben der suspendierten Teilchen, zu Boden zu fallen, wird nicht so sehr durch die Wasserbewegung verhindert; denn auch stehendes Flußwasser scheidet die Trübung sehr langsam aus. Vielmehr geben die meisten Mineralien mit Wasser kolloidale Lösungen, wobei die Dichte des geschwellten Teilchens wesentlich geringer ist als in trockenem Zustand. Doch fällt die Trübung aus, sobald eine Säure oder ein Salz dem Wasser zugesetzt wird. Salzgehalt, daher auch die Mischung von Fluß- und Meerwasser, befördert also den Niederschlag der Kolloide, wahrscheinlich durch den dabei hervorgerufenen elektrolytischen Vorgang.

Der Schlammgehalt nimmt mit der Wassermenge zu, also sowohl bei Hochwasser als auch in abflußreicheren Jahren und Perioden. An der Mündung der Donau entfallen auf 1 cbm Wasser etwa 330 g Trübung, bei manchen Alpenflüssen aber bis zu 1 kg, d. i. $^1/_{1000}$ des Wasservolumens. Diese erfahren bei Hochwässern eine enorme Steigerung und gleichen dann Schlammströmen, die bis zu $^1/_3$ der Wassermenge und $^3/_4$ des Wassergewichts Schlamm enthalten. Besonders schlammreich sind auch die indischen und die aus Lößgebieten kommenden Flüsse; relativ gering ist die Schlammführung von Nil und Mississippi. Nach der Zusammenstellung von Penck beträgt die Schlammführung in Gramm in 1 cbm Wasser pro Monat:

| | Winter | Frühjahr | Sommer | Herbst | Jahresmittel |
|---|---|---|---|---|---|
| Elbe bei Geesthacht | 26,6 | 34,3 | 41,3 | 22,5 | 31,2 |
| Amu-Darja bei Nukus | 424 | 1013 | 2244 | 955 | 1593 |
| Hugli bei Kalkutta | 672 | 2307 | 1828 | 835 | 1234 |
| Nil | 194 | 55 | 579 | 422 | — |
| Mississippi | 529 | 557 | 965 | 379 | 629 |

Die Größe der Schlammführung ist auch von Einfluß auf die Farbe des Flußwassers, die bei normaler Wasserführung von der Gesteinsbeschaffenheit des Flußgebietes abhängt, wobei aber bereits die Menge und Beschaffenheit der gelösten Salze mitwirkt. Das klarste Wasser führen die von Kalkquellen gespeisten Flüsse; die Flüsse aus den Zentralalpen haben flaschengrünes Wasser, soweit sie nicht Gletscherflüsse sind, trüben sich aber leicht durch jeden Gewitterregen. Die Donau bei Wien ist im Winter dunkelgrün, bei Hochwasser im Sommer schmutziggelb; braun gefärbt sind die Flüsse aus Moorgebieten, die auch sehr reich an Humussäuren sind.

Die Menge der im Wasser gelösten Salze ist meist mehrmals größer als die der suspendierten Stoffe; ihre relative Menge ist aber bei Hochwasser kleiner als bei Niedrigwasser, da dieses hauptsächlich von Quellen gespeist wird, während das oberflächlich abfließende Wasser der Regen und Schneeschmelze noch wenig Zeit gehabt hat, Salze zu lösen. Wärmeres Wasser vermag zwar weniger Sinkstoffe zu führen, aber mehr Stoffe gelöst zu enthalten. Universell verbreitet sind im Flußwasser gelöste Karbonate (etwa 1—200 g in 1 cbm) und, wenn auch quantitativ zurücktretend, Kochsalz, das sowohl aus den Gesteinen, als aus den Niederschlägen stammt. Manche Flüsse wie der Amazonas sind besonders reich an Silikaten. Das Gesamtgewicht der jährlich von den Flüssen ins Meer geführten gelösten Substanzen darf nach Penck auf etwa $^1/_{6000}$ des Wassergewichtes oder rund 4 Milliarden t geschätzt werden.

## IV. Seenkunde.

Als Seen bezeichnen wir mit Forel alle in einer allseits geschlossenen Hohlform der Erdoberfläche oder Wanne gelegenen, mit dem Meere nicht in unmittelbarer Verbindung stehenden stagnierenden Wasseransammlungen. Daher sind von dieser De-

finition ausgeschlossen die Lagunen und Strandseen, aber auch die unterirdischen, am Boden von Höhlen vorkommenden Wasseransammlungen, eingeschlossen alle kleinen Tümpel und Weiher, die sich zumeist durch ihre Flora von den echten Seen unterscheiden und den Sümpfen näher stehen. Die Bezeichnung Landseen oder Binnenseen ist zu verwerfen. — Das Areal aller Seen der Erde dürfte etwa 1,5 Millionen qkm betragen.

### 1. Das Seebecken.

Während die auf der Landoberfläche wannenbildenden Vorgänge Gegenstand der Morphologie sind, interessieren uns hier zunächst jene Prozesse, die mit der Wassererfüllung der Wanne verbunden sind und durch die eine trockene Wanne zu einem Seebecken umgestaltet wird.

Über die Form des Seebeckens orientieren nach geeigneten Methoden und mit bestimmten Apparaten ausgeführte Lotungen, auf denen die limnimetrische Karte beruht, auf der Punkte gleicher Tiefe durch Isobathen verbunden sind. Sie zeigt uns vor allem den Unterschied zwischen der meist ebenen, seltener unregelmäßig gestalteten Sohle des Beckens und den wesentlich steiler geböschten, bis zur Wasseroberfläche reichenden Wandungen oder Gehängen. Nur bei sehr seichten Seen, namentlich solchen des Flachlandes, geht die Sohle unmerklich in die Wandungen über. Der jeweilige Wasserspiegel zerlegt die Gehänge des Beckens in einen sub- und einen superaquatischen Teil. Die Zone der Uferregion, innerhalb welcher sich der Wasserspiegel verschiebt, bezeichnen wir als Strand; er ist zu unterscheiden von der litoralen Zone, die bis zur untern Grenze der Einwirkung des Wellenschlags reicht.

Unter den in der Uferregion wirkenden Kräften kommt vor allem die mechanische Erosion durch die Stoßkraft der Wellen oder Brandung in Betracht. Durch den Anprall der Wellen gegen das Ufer kommt es zu einer Lockerung des Gesteinsgefüges und zu Untergrabung des Fußes der davon betroffenen Böschung. Es entwickelt sich an allen Seen mit merklichem Wellengang und steileren superaquatischen Böschungen ebenso wie an den Steilküsten des Meeres ein immer weiter zurückweichendes Kliff und ihm vorgelagert, der submarinen Plattform entsprechend, die

**Uferbank**, entstanden durch die abradierende Wirkung der Wellen (am Bodensee Wysse, am Genfersee „beine" genannt); das vom Wasser zurückgezogene gröbere Material baut die unter etwa 25—30° geneigte **Seehalde** auf, während das feinere Material vom „Sog", dem Unterstrom der auflaufenden Wellen, noch weitergeführt und erst in größeren Tiefen abgelagert wird. Uferbank und Halde stoßen gewöhnlich mit einem deutlichen Knick aneinander. Das auf der Uferbank liegende Material hängt in erster Linie von der Beschaffenheit der Gehänge des Beckens ab. In Gebirgsseen bedecken daher meist Gerölle die Uferbank, oft auch Schlamm, der zum Teil wohl aus der Zerreibung der gröberen Gesteinsbrocken herstammt. Am Lunzer Untersee in Niederösterreich aber fand **Götzinger**, daß dieser Schlamm organogener Herkunft ist, nämlich aus Schneckenschalen und ihrem Detritus, sowie durch Pflanzen niedergeschlagenen Kalkkrusten besteht und schon wenige Meter vom Ufer eine Mächtigkeit von $1^1/_2$—2 m hat, so daß seewärts noch viel größere Mächtigkeiten zu erwarten sind.[32]) Hier also ist die Uferbank eine Akkumulationsform. Breite und Tiefe der Uferbank hängen von der Widerstandsfähigkeit des Ufergesteins, der Größe des Wellenganges und der Lage gegenüber der herrschenden Windrichtung ab, sind daher auch an demselben See von Ort zu Ort sehr wechselnd. An den Alpenseen mittlerer Größe endet die Uferbank bei einer Breite von 5—50 m meist in Tiefen von etwa 2—5 m.

An der Mündung offener Seezuflüsse baut sich aus dem mitgeführten Geröll, Sand und Schlamm über der Halde ein **Delta** auf, bestehend aus unter etwa 25—30° seewärts fallenden Schichten, wobei eine Sonderung des Materials nach der Größe mit der Tiefe stattfindet. Während aber bei der Seehalde die Schichtung einfache sog. Übergußschichtung ist, liegt beim Delta über der steilen Schichtung des subaquatischen Teiles die sehr schwach geneigte des allmählich vorrückenden superaquatischen Teiles, die dem Gefälle des Flusses entspricht (Abb. 17). Wo ein Delta vorliegt, ist gewöhnlich die Uferbank unterdrückt. Die Größe der von den Flüssen in die Seen geführten Geschiebemengen wurde bereits

32) Geomorphologie der Lunzer Seen. Internat. Revue der ges. Hydrobiologie und Hydrographie, 1912, S. 87.

an einigen Beispielen genannt (vgl. S. 59), wobei der feine, erst in größeren Tiefen zur Ablagerung kommende Schlamm nicht berücksichtigt ist. Das flächenhafte Wachstum von Deltas ist nur in wenigen Fällen durch den Vergleich mit älteren Karten oder andere Angaben zu verfolgen. So ist das westliche von den beiden Mündungshörnern des Rheins im Bodensee in 1000 Jahren bloß um 0,66 qkm gewachsen, das Tessindelta im Langensee von 1853 bis 1893 um 388 qm. Wo sehr kalte, schlammreiche Flüsse sich in wärmere Seen ergießen, sinkt ihr spezifisch schwereres Wasser längs der Böschung des subaquatischen Deltas unter und schafft sich dabei in der Richtung des stärksten Gefälles eine **sublakustre Rinne**, die beiderseits von Wällen von Schlamm- und Sandmassen begleitet ist. Eine solche Rinne wurde an der Mündung des Rheins in den Bodensee durch genaue Lotungen mit einer Länge von $11^3/_4$ km, einer Breite von 4—600 m, einer Tiefe von bis 75 m unter den sie begleitenden Dämmen und einem durchschnittlichen Gefälle von 2,4 % nachgewiesen[33]); eine ähnliche Furche von 6,5 km Länge hat sich die Rhône an der Mündung in den Genfersee geschaffen. Diese Erklärung wird durch die am Bodensee „Brech“, am Genfersee „Bataillère“ genannte Erscheinung unterstützt, bei der man das trübe Flußwasser unter starker Wirbelbildung unter dem klaren Seewasser verschwinden sieht.

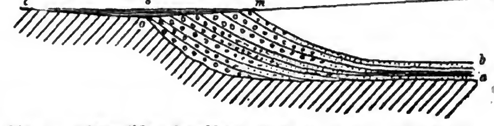


Abb. 17. Schematischer Querschnitt durch ein Delta. (*omx* = Seespiegel, *omab* = Deltaschichten, *csmo* = fluviatiler Schnittkegel, *com* = Flußbett.)

Ebenso wie höhere Temperatur befördert auch der **Salzgehalt** die Sedimentation; daher findet in Salzseen die Ausscheidung der feinen Schlammpartikel auch bei ziemlicher Wasserbewegung sehr rasch statt. Unterirdische Zuflüsse, nämlich die am Seeboden aufsprudelnden Quellen, verhindern die Sedimentation, so daß sich um ihre Austrittsstelle ein steiler Trichter ausbildet,

33) Eb. **Graf Zeppelin** in Verh. d. X. Deutsch. Geogr.-Tages, S. 96.

wie der von Delebecque in der Uferbank des Lac d'Annecy nachgewiesene, 80 m tiefe „Bourbioz".[34]) In großer Zahl treten solche Trichter auch in dem von Grundwasser gespeisten Lunzer Mittersee auf.

Die Ufer sehr großer Seen zeigen bereits alle Einzelformen einer Meeresküste, indem hier zur Wirkung der Brandung noch die der Uferströmungen hinzukommt. So finden wir Haken, Nehrungen, Haffe, Strandwälle und andere Erscheinungen der Flachküste an den Ufern der großen kanadischen Seen. In ausgezeichneter Weise sind die Formen einer ehemaligen Seeküste an den Rändern der großen diluvialen Seen Nordamerikas, dem Lake Bonneville, Lake Lahontan und Lake Agassiz, erhalten, deren Entleerung verhältnismäßig rasch vor sich ging.

Außerhalb der Uferzone, in der sog. pelagischen Zone, findet eine allmähliche Zuschüttung der Sohle durch den feinen Schlamm statt, der von Wellengang und Strömungen bis in die Mitte des Sees geführt wird. Dazu kommen äolische Ablagerungen, ferner die aus dem Wasser direkt ausgeschiedenen gelösten Substanzen, endlich organogene Bildungen. Alles das führt dazu, die ursprünglichen Unebenheiten des Bodens der Wanne auszugleichen und einen nahezu ebenen Seeboden, den sog. Schweb, zu schaffen, in dem die Tiefen auf großen Flächen sehr gleichmäßig sind. Je mächtiger die Wassermasse ist, desto mehr Sediment muß sich in gleicher Zeit aus ihr niederschlagen; daher sind die Schlammmächtigkeiten wahrscheinlich über den ursprünglich tiefsten Stellen der Wanne am größten, wenngleich Messungen noch nirgends ausgeführt wurden. Die Geschwindigkeit der Sedimentation am Schweb wurde in herabgelassenen Kästen bereits mehrfach gemessen; in den Schweizer Alpenseen beträgt die Dicke der jährlich zuwachsenden Schlammschicht mehrere Millimeter, schwankt aber in den einzelnen Jahren in außerordentlich weiten Grenzen; im Urner See betrug sie 1897/8: 15 mm, 1901/2 aber 82 mm, die hauptsächlich durch ein starkes Gewitter zustande kam.[35]) Im Lunzer See beträgt sie pro Jahr rund 1 mm und ist im Frühjahr und Sommer infolge der stärkeren Wasser- und Schlammführung

34) Les lacs français, Paris 1898.
35) Heim, Vierteljahrsschr. d. Naturforsch. Ges. Zürich XLV. 1910.

des Seebaches und der höheren Temperatur des Seewassers etwa viermal größer als im Winter.[36])

Die chemische Beschaffenheit des Schwebschlammes ist je nach der Gesteinszusammensetzung der Ufer und der Flora und Fauna der Seen sehr verschieden. Im Lunzer See hat er einen hohen Ton- und einen sehr hohen Kielsäuregehalt, der von den Diatomeen herrührt, während der Schlamm der Uferbank fast nur aus organogenem Kalk, der zähen, weißen „Seekreide“, besteht.[37]) In den schottischen Seen herrscht als Tiefensediment der an organisch gefällten Eisenhumaten reiche sog. Brown Mud vor. Große Bedeutung haben chemische Sedimente in Salzseen, wo sich die verschiedenen Salze in der durch den Grad ihrer Löslichkeit bedingten Reihenfolge ausscheiden.[38]) Ein wahrscheinlich sehr häufiger Sedimentationsvorgang in Seen ist endlich das gelegentliche Abrutschen und Abgleiten der an übersteilen Gehängen angehäuften Schlammassen, wodurch die Grenzen zwischen Halde und Schweb verwischt werden.

Alle die genannten Vorgänge, vornehmlich die Geschiebezufuhr der Flüsse sowie das Wuchern der Pflanzenwelt an den Ufern bewirken eine beständige Veränderung der Form und eine zunehmende Abnahme des Inhalts des Seebeckens. Dazu kommt die Vertiefung des Seeabflusses durch Erosion, die ein sehr langsames Sinken des Seespiegels zur Folge hat. Allerdings vermag dem der Pflanzenwuchs am Ausfluß entgegenzuarbeiten, indem durch rasche Verlandung und Bildung sog. Seemoose eine Hebung des Seespiegels und damit eine Vergrößerung der Seefläche entsteht, wie dies am Würmsee nachgewiesen wurde. Im allgemeinen aber haben die verlandenden, ausfüllenden und entleerenden Vorgänge das Übergewicht und führen einen jeden See vom Stadium der Jugend, in dem die Seewanne noch das ursprüngliche Relief hat, durch das der Reife mit ausgebildeter Uferbank, Deltas und Schweb, aber noch durchschimmernden Zügen des ursprünglichen Reliefs ins Greisenalter mit überall vorherrschenden Ablagerungen und einer ausgedehnten zentralen Ebene. Sobald diese bis zur Höhe der Uferbank emporgewachsen ist und es nur mehr

36) Götzinger a. a. O. S. 96ff.
37) Ebda. 106. 38) Vgl. darüber S. 85ff.

die Böschungen der Uferregion gibt, wird der See nach Forels Ausdruck zu einem Weiher. Nun kann die ganze Fläche durch die litorale Flora besiedelt werden, die vegetative Verlandung schreitet rasch vorwärts, die Pflanzen des frischen Wassers werden allmählich durch die Sumpfflora ersetzt; aus dem Weiher wird ein Moor oder Sumpf. Ein jeder See ist daher nur eine vorübergehende Erscheinung der Landoberfläche. In Tirol sind seit Peter Anichs Karte von 1774 über 100 allerdings meist kleine Seen erloschen und zahllose Ortsnamen erinnern an frühere Seen.

### 2. Der Wasserhaushalt der Seen.

Die Speisung eines Sees geschieht entweder nur direkt durch Niederschläge oder durch diese und einmündendes Flußwasser oder endlich außerdem noch durch das von unten oder von der Seite hinzutretende Grundwasser, sobald das Seebecken bis zum Grundwasserspiegel eingesenkt ist, wie das bei vielen Seen des Kalkgebirges, namentlich den echten Karstseen, und bei den Grundmoränenseen Ostpreußens der Fall ist.[39]) Die Wasserabfuhr geschieht wohl nur selten durch Versickerung und Abgabe an das Grundwasser, da zumeist der Seeboden durch Sedimente genügend abgedichtet ist; eine Ausnahme bilden die Karstseen mit unterirdischer Entwässerung in Dolinen oder Poljen, deren Entwässerung und Schwankungen durch den Stand des Karstwasserspiegels geregelt werden. Im übrigen erfolgt ein Wasserverlust durch Verdunstung von der Oberfläche und durch oberflächlichen Abfluß. Dieser tritt ein, sobald die Zufuhr andauernd größer ist als die Verdunstung, so daß die Wanne bis zum Überfließen gefüllt ist. Seen, bei denen die Verdunstung größer oder ebenso groß ist als die gesamte Zufuhr, bezeichnen wir als Endseen, solche, bei denen die Zufuhr durch Niederschläge der Verdunstung gleichkommt oder sie übertrifft, als vollkommene Flußseen; solche endlich, bei denen die Verdunstung größer ist als der Regenfall auf der Seefläche, als unvollkommene Flußseen. Sie nähern sich bald dem einen, bald dem andern Typus, je nachdem die Hauptabfuhr durch Verdunstung oder durch Abfluß geschieht. Neben dieser Einteilung, die auf dem jeweiligen Zustand beruht, lassen sich nach dem Verhalten in längeren Zeiträumen die Fluß-

39) Braun, Peterm. Mitt. 1903, 265.

seen unterscheiden in solche mit konstantem oder mit intermittierendem Abfluß (sog. Niederschlagsseen), die Endseen in permanente Endseen und temporäre Seen, die gelegentlich vollkommen austrocknen. Derartige Veränderungen vollziehen sich infolge von periodischen Klimaschwankungen von längerer oder kürzerer Dauer; so sind der Tsad-, Tanganjika- und Nyassa-See je nach der Größe des Zuflusses und dem Verlust durch Verdunstung Seen mit oder ohne Abfluß. In China sind Endseen zu Flußseen geworden; häufiger aber trat das Umgekehrte ein, wie beim Kaspi- und Aralsee und beim Gr. Salzsee von Utah. Seen mit kompliziert gebautem Becken zergliedern sich mit dem allmählichen Sinken des Wasserspiegels in mehrere Seen, wie der Abyschkan-See in Westsibirien; diese werden dann zu temporären Seen, bis schließlich völlige Austrocknung eintritt.

Von diesen Veränderungen abgesehen sind die Wasserstandsschwankungen eines Sees, die ebenso wie bei Flüssen durch Pegel oder selbstregistrierende Limnographen beobachtet werden, bedingt durch die Schwankungen des Zuflusses und haben wie dieser eine allerdings meist sehr unbedeutende tägliche und eine merkbarere jährliche Periode, ferner säkulare Schwankungen und aperiodische Veränderungen, die durch starke Regengüsse, plötzliche Schneeschmelze, Dammbrüche oder Stauungen verursacht sein können. Die Amplitude der jährlichen Schwankung hängt von dem Verhältnis zwischen der Größe der Seefläche und der des Zu- und Abflusses ab und ist daher am kleinsten dort, wo ein großer See einen nur unbedeutenden Zu- und Abfluß besitzt. Indem die Seen zu Zeiten starker Wasserführung der Flüsse einen Teil des Flußwassers zurückbehalten und ihn bei Niederwasserstand wieder abgeben, wirken sie regulierend auf die Wasserführung der Flüsse und schwächen die Extreme ab. Die jährliche Periode der Seespiegelschwankungen ist daher auch zumeist bestimmt durch die Periode des den See durchströmenden Flusses.

Am besten bekannt ist in dieser Hinsicht der Bodensee, an dem Pegelbeobachtungen bis 1797 zurückgehen. Von Ende Februar bis Ende Juli wird im See Wasser aufgespeichert, daher tritt der höchste Stand im Juli ein; in den übrigen Monaten wird Wasser an den Rhein abgegeben, das Minimum fällt in den Februar. Die durchschnittliche Jahresschwankung beträgt 2,12 m, die abso-

lute Schwankung bewegt sich zwischen + 6 m (Juli 1817) und — 2,1 m (Winter 1823 und 1826). Auch bei den anderen großen Alpenrandseen beträgt die mittlere Schwankung einige Meter, bei den Kanadischen Seen aber infolge der großen Seespiegelflächen nur einige dm; ein Wasserstand von + 30 cm bedeutet hier schon eine Vermehrung der Wassermenge aller fünf Seen um 75 cbkm.

Was die Schwankungen des Wasserstandes von Flußseen in längeren Perioden anbelangt[40]), so reagieren sie auf Veränderungen des Zuflusses zwar rasch, und zwar um so rascher, je steiler die Ufer sind, aber nur unbedeutend, da sich Änderungen der Zufuhr zugleich durch eine Änderung des Abflußquerschnittes kompensieren. Oft ist die Amplitude der Jahresschwankung größer als die der säkularen Schwankung. Dazu kommt, daß in längeren Perioden sich bereits auch andere die Lage des Seespiegels beeinflussende Vorgänge, wie kontinuierliche Senkung infolge Einschneiden des Abflusses oder Erhöhung durch Zuschüttung, geltend machen können, so daß die klimatischen Einflüsse nicht rein zutage treten. Mit Eliminierung jener Faktoren fand Brückner für den Bodensee und einige andere europäische Seen und deren Zuflüsse als Zeiten der Minima die Jahresgruppen um 1795, 1831/5, 1858/65, als Maxima die Jahresgruppen um 1820, 1850, 1876/80, doch zeigen manche Seen, wie der Saima-See in Finnland (ein Minimum um 1850), ferner der Erie- und Ontariosee sehr bedeutende Abweichungen, so daß, soweit das Material vorhanden ist, nicht von einer völligen Gleichsinnigkeit der Schwankungen gesprochen werden kann.

Besser eignen sich für derartige Untersuchungen die Endseen. Durch dauernd vermehrte Zufuhr nimmt die Seefläche, aber auch die Niederschlags- und Verdunstungsfläche zu, während der Betrag der Höhenveränderung von der Steilheit der Ufer abhängt. Jedenfalls aber reagieren Endseen sehr empfindlich und mit großen Veränderungen ihrer Spiegellage auf Veränderungen der Zufuhr, jedoch mit bedeutender Verspätung, und zwar um so später, je steiler die Ufer sind; es kann ein Maximum des Wasserstandes eintreten, wenn die Zufuhr schon wieder ihren Mittel-

40) E. Brückner, Klimaschwankungen seit 1700, Geogr. Abh. IV. 2, 1890.

wert erreicht hat. Für eine große Anzahl von Endseen fand Brückner die mittlere Lage der Maxima um 1820, 1850 und 1880, die der Minima um 1800, 1835 und 1865; doch ist bei den einzelnen Seen die Dauer der Periode sehr verschieden und es erreichen die Abweichungen von den Mittellagen sehr bedeutende Beträge.

### 3. Die Bewegungen des Seewassers.

Die Oberfläche eines Sees erfährt durch verschiedene Ursachen teils konstante, teils temporäre Niveaustörungen oder Denivellationen. Konstante Störungen treten ein durch konstante Dichtigkeitsunterschiede, so namentlich an der Mündung sehr schlammreicher Flüsse oder an Salzseen zwischen dem leichteren Wasser in der Umgebung des Zuflusses und dem schwereren der Seemitte, ferner als Strömungen zwischen Zu- und Abfluß; an der Mündung eines größeren Flusses breitet sich sein Wasser als ein sehr flacher, nach oben konvexer Kegel aus, am Austritt entsteht ein nach oben konkaver Kegel; doch sind solche Strömungen nur am Ein- und Ausfluß unmittelbar zu beobachten. Temporäre Störungen treten ein bei sehr großen Seen durch die Gezeiten (so am Michigan-See), ferner durch thermische und Windwirkungen, worauf wir später eingehend zurückkommen, endlich in rhythmischer Form durch fortschreitende oder durch stehende Wellen.

Die Hauptursache der fortschreitenden Wellenbewegung[41]) ist der Wind; doch dauert die Bewegung mit abnehmender Wellenhöhe als Dünung auch noch an, wenn die Ursache zu wirken aufgehört hat. Nach den Hauptformeln der Wellenbewegung ist die Periode $T=\sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}}$, $v$ (Fortpflanzungsgeschwindigkeit) $=\frac{\lambda}{T}=\frac{gT}{2\pi}$; lange Wellen haben also eine größere Periode und eine größere Geschwindigkeit. Sehr lange Wellen, die sich rascher bewegen als der Wind, sind das Anzeichen eines herannahenden Sturmes. Die größten Wellen in Seen erreichten etwa 1,5—3 m Höhe und treten meist in kleineren Gebirgsseen auf. Eine wellenstillende Wirkung üben Fremdkörper aus, indem sie die innere Reibung der Wasserteilchen verstärken, aber auch Regen, Hagel und sehr dünne Schichten zähflüssigen Öls, indem es die Oberflächenspannung vermindert und die sog.

41) Vgl. Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, 2. Aufl. II. Bd. Stuttgart 1911.

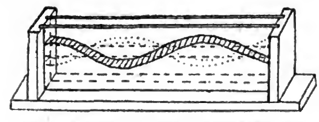


Abb. 18. Stehende Wellen mit 3 Knoten.
(Nach den Brüdern Weber.)

kapillaren Wellen unterdrückt. Noch rätselhaft sind die auf leicht bewegter Oberfläche auftretenden glatten Stellen, die sog. Ölflecke oder Lacken. Laufen die Wellen gegen ein Ufer, so nimmt Geschwindigkeit und Wellenlänge ab; an steilen Ufern entsteht durch Ablösung beträchtlicher Wassermengen von den Wellenkämmen die in Strahlen aufspritzende Klippenbrandung. An flacher abfallenden Ufern werden die Wellen gleichfalls kürzer, aber höher und steiler, asymmetrisch und überhängend und brechen in sich zusammen; es entsteht die sog. Strandbrandung. Bei senkrechtem Anprall tritt totale Reflexion ein, so daß die zurückgeworfene Welle dort ein Tal hat, wo die ankommende einen Berg bildet. Daraus entstehen stehende Wellen, deren Knotenpunkte in Ruhe bleiben.

Stehende Wellen (Abb. 18) können nur dann entstehen, wenn die Wellenlänge einen aliquoten Teil der Länge des Beckens bildet. Ihre Bewegung besteht darin, daß die Wellenberge durch senkrechtes Niedersinken der Teilchen zu Tälern und diese durch Aufsteigen zu Bergen werden. Diese bald nach oben, bald nach unten schwingenden Strecken bilden die Schwingungsbäuche, die dazwischen in Ruhe bleibenden Stellen heißen Knoten, ihre Verbindungslinie die Knotenlinie. Je nach der Anzahl der Knoten unterscheidet man einknotige oder uninodale stehende Wellen, bei denen die Knoten in der Mitte des Gefäßes liegen, oder plurinodale mit 2 oder mehr (bis $n$) Knoten, bei denen der erste Knoten in $\frac{1}{2n}$ der Länge des Gefäßes, jeder folgende um $\frac{1}{n}$ der Länge weiter liegt; die Schwingungszeit ist $\frac{1}{n}$ der einknotigen. In einem länglichen Gefäß können sowohl in der Richtung der Längsachse schwingende longitudinale als senkrecht dazu schwingende transversale stehende Wellen als auch beide Arten vereinigt vorkommen. Während die Teilchen der Oberfläche nur senkrechte Bewegungen ausführen, bewegen sie sich im Innern der Flüssigkeit in gegen die Ebene der Ruhelage konkaven Linien. Genau unter der Knotenlinie ist am Boden eines rechtwinkligen Gefäßes die horizontale Bewegung ein Maximum, die vertikale Null; diese hat ihr Maximum gerade unter den Bäuchen, wo die horizontale Null ist.

In einem regelmäßig rechteckigen Gefäß können stehende Wellen entweder durch Heben eines Endes des Gefäßes und Fallenlassen erzeugt werden oder indem man auf die Oberfläche rhythmisch einen Druck ausübt. Die Schwingung dauert mit gleicher Periodenlänge auch noch eine Zeitlang an, wenn der Druck bereits aufgehört hat. Für unregelmäßig gestaltete Becken hat erst Chrystal eine vollständige Ableitung gegeben.[42])

Das wichtigste ist die Herstellung der sog. Normalkurve jedes Beckens auf Grund seiner Isobathenkarte. Bildet man die Produkte aus den Breiten ($b$) der entsprechend den wechselnden Tiefen gewählten Streifen der Wasserfläche und ihren linearen Abständen ($a$), so ist die Summe dieser Produkte ($v_1 = a_1 b_1$, $v_2 = a_2 b_2 \cdots v_n = a_n b_n$) gleich dem Gesamtareal des Beckens; ferner bildet man die Produkte ($\sigma$) aus den diesen Streifen zugehörigen senkrechten Querschnitten ($q$) und den zugehörigen Beckenbreiten ($b$), also $\sigma_1 = q_1 b_1$, $\sigma_2 = q_2 b_2 \cdots$; nun denkt man sich den auf die Oberfläche projizierten Talwegschnitt, der auf der Karte als eine geknickte Linie: $l = a_1 + a_2 + \cdots + a_n$ erscheint, in eine Ebene gestreckt und betrachtet das linke Ende als den Koordinatenanfangspunkt. Trägt man nun die einzelnen $v$ als Abszissen, die zugehörigen $\sigma$ als Ordinaten nach unten hin auf, so erhält man die Normalkurve des Beckens, die nach oben konkav oder konvex oder komplizierter gestaltet sein kann. Daraus lassen sich dann die sehr kompliziert gebauten Formeln der Periode der Uninodal- und Binodalschwingung und die Lage der Knotenlinie ermitteln.

Stehende Schwingungen wurden in der Natur zuerst 1549 vom Bodensee beschrieben, ihr klassisches Gebiet aber ist der Genfersee, wo dieses rhythmische Hin- und Herfluten vom und zum Ufer als Seiches bezeichnet wird. Diesen Ausdruck hat ihr erster wissenschaftlicher Erforscher F. A. Forel auf alle ähnlichen Niveauveränderungen, die als stehende Wellen die ganze Wassermasse ergreifen, übertragen.[43]) Die erste Beobachtung geschah mit einem sehr primitiven Schwimmer, dem sog. Plemyrameter, der nur die Periode der Schwingung zu bestimmen gestattete, später mit selbstregistrierenden Limnimetern, die auch die Amplitude der Schwingung aufzeichnen und in verschiedener Form von Sarasin, Ebert, Endrös, Chrystal u. a. konstruiert wurden. Der Ver-

42) Transact. R. Soc. Edinburgh 1905, Bd. 41, III. — Vgl. die allgemeinverständliche Darstellung dieser sehr schwierigen Theorie von Halbfaß, Zeitschr. Ges. f. Erdk. Berlin 1907.

43) Forel, Les seiches, Luzern 1876, und Arch. des sciences nat. Genf 1876 u. 1885.

gleich der Beobachtungen an den schottischen Seen und vielen Alpenseen mit den berechneten Werten ergab recht befriedigende Resultate. Es zeigte sich, daß das Schwingungsverhältnis der uni- und binodalen Schwingungen von der Tiefe der Seen unabhängig, aber von der Bodenkonfiguration bedingt ist; es ist z. B. für ein symmetrisch-geradliniges Becken 0,63, für ein symmetrisch-konkav-parabolisches 0,58. Die Bahnen der Seiches sind verwickelte Kurven, eine Folge der ungleichen Tiefen, die Knotenlinien liegen oft vollkommen unsymmetrisch zur Seelänge, indem z. B. beim Genfersee die Wellen gegen das untere und seichtere Ende hin kürzer sind als im östlichen tieferen Teil des Sees. Auch finden sich gleichzeitig longitudinale und transversale Schwingungen, ferner Interferenzen von uninodalen (Grund-) und binodalen (Ober-) Schwingungen. Beim Genfersee beträgt die Amplitude der Hauptseiche gewöhnlich nur einige mm; doch erreichte am 3. Oktober 1841 in Genf die Differenz zwischen dem höchsten und tiefsten Wasserstand 1,87 m; die größte mit einem Apparat gemessene Seiche hatte eine Amplitude von 63 cm (20. August 1890); die Periode der uninodalen Längsschwingung ist im Mittel 73 m, die der binodalen 35,5 m. Bei dem großen, aber sehr seichten Plattensee hat die Hauptseiche eine Periode von etwa 11 Stunden, beim Eriesee 14 Stunden; die Schwingungen geschehen hier also sehr langsam.[44]) Die längste bekannte Serie von Seiches dauerte am Genfer See vom 26. März bis 3. April 1891 mit 147 Schwingungen. Die direkt zu beobachtende Höhe der Anschwellung des Wassers ist natürlich von einem Punkt des Ufers zum andern je nach der Uferbeschaffenheit verschieden und meist am größten im Innern einer engen, wenig tiefen Bucht.

Was endlich die Ursache dieser Schaukelwellen, wie sie Supan nennt, anbelangt, so liegen sie wohl vorwiegend in plötzlichen Luftdruckschwankungen, die oft nur lokaler Natur sind, nur auf einen kleinen Teil der Wasserfläche einwirken und hier eine Schwingung der Wassermasse hervorrufen, wenn die Periode dieser Luftwogen mit der dem Wasserbecken eigenen Schwingungsperiode zusammenfällt. Tatsächlich wurde auch meist ein Zusammenhang mit den Bewegungen des Barometers oder des Anemo-

44) Vgl. die Zusammenstellung von Endrös in Peterm. Mitt. 1908, für die Seen des Salzkammerguts ebda. 1906.

meters konstatiert. Entweder treten die Seiches ganz plötzlich und sofort mit großer Amplitude auf durch plötzliche Behebung einer länger dauernden, etwa durch Windstau erzeugten Denivellation oder allmählich durch Barometerschwankungen, Änderungen der Windgeschwindigkeit u. dgl. Jedenfalls sind sie bei unruhigem Wetter häufiger als bei ruhigem. Besonders auffallend ist das Zusammenfallen der sog. Gewitternasen am Barograph mit dem plötzlichen Anschwellen der Amplitude einer Seiche. In gleicher Weise wirken plötzliche Windstöße, Böen oder Gewitter. Am Chiemsee erzeugte ein Platzregen ohne stärkeren Wind schon eine Seiche von 38 mm. Die größte Seiche am Genfer See von 1841 konnte nach Forel durch eine lokale Luftdruckänderung von 6 mm in einer halben Stunde erzeugt werden. Hingegen besteht kein sicherer Zusammenhang zwischen den Seiches und den kurzperiodischen Erdbebenwellen.

Die Seiches sind übrigens keine auf Seen beschränkte Erscheinung, sondern sind bereits von zahlreichen mehr oder weniger geschlossenen Meeresbecken bekannt.[45])

### 4. Die Wärmeverhältnisse der Seen.

Für die Erwärmung des Seewassers kommt in erster Linie die direkte Wärmestrahlung der Sonne in Betracht; doch dringen infolge der starken Absorption gerade der Wärmestrahlen im Wasser diese nur bis zu geringer Tiefe ins Wasser ein und es erfährt ihre Einwirkung eine bedeutende Abschwächung durch die namentlich bei glatter Oberfläche sehr bedeutende nächtliche Ausstrahlung. Als weitere, aber unbedeutende Wärmequellen kommen hinzu die Wärmestrahlung der umgebenden Luft und der angrenzenden Gehänge, die sehr geringe Wärmeleitung von der Luft ins Wasser und die bei der Kondensation von Wasserdampf frei werdende Wärme, der der Wärmeverlust bei der Verdunstung und beim Schmelzen von Schnee oder Hagel gegenübersteht. Von Bedeutung wird die Erwärmung oder Abkühlung durch Zuflüsse, die sich mit dem Seewasser unmittelbar mischen, sobald sie gleiche Dichte haben wie dieses. Ist aber das Wasser des Zuflusses infolge tieferer Temperatur schwerer, so sinkt es unter,

45) Vgl. darüber Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, 2. Aufl. II. 167 ff., Stuttgart 1911.

bis es Schichten von gleicher Temperatur trifft, und übt daher keine thermische Wirkung aus. Ist es aber durch seinen Schlammgehalt schwerer als Seewasser von gleicher Temperatur, so sinkt es tiefer, als seine Temperatur erfordern würde, und vermag erwärmend zu wirken. Ein kräftiger Abfluß aber entzieht dem See die warmen Oberflächenschichten.

Für die Wärmeverhältnisse in einiger Tiefe kommen aber außerdem noch die Konvektionsströmungen und Windwirkungen in Betracht. Jene bestehen darin, daß kältere obere Schichten in die Tiefe sinken, während wärmere tiefere aufsteigen, da sich die Schichten nach ihrer Dichte lagern. Wasser, das überall über + 4° C hat, besitzt die direkte Schichtung, d. h. die Temperatur nimmt mit der Tiefe ab. Wasser zwischen 0 und + 4° zeigt verkehrte Schichtung, die Temperatur nimmt nach unten zu. Die Wirkung der Winde besteht zunächst darin, daß das Wasser nach dem Ufer, nach dem der Wind weht (Luvseite), hingetrieben wird, so daß der Seespiegel schräggestellt wird; an der Luvseite kommt es zu einer absteigenden, an der Leeseite zu einer aufsteigenden Bewegung, dazwischen besteht in einiger Tiefe eine Gegenströmung. In einer Wassermasse von überall gleicher Dichte könnte diese Zirkulation und damit die Mischung bis zu großen Tiefen herabbringen. Haben aber die tieferen Schichten sei es wegen tieferer Temperaturen, sei es wegen höheren Salzgehaltes größere Dichte, so üben sie gegen die Mischung einen Widerstand aus, der das Herabreichen der Zirkulation in größere Tiefen verhindert; ihn bezeichnet A. Hamberg als ponderalen Widerstand.[46])

Fortgesetzte Zustrahlung von Wärme bei direkter Schichtung oder fortgesetzte Ausstrahlung bei indirekter Schichtung muß, von Windmischung vorläufig abgesehen, die Temperaturunterschiede in der Vertikalen verschärfen; Abkühlung eines oberflächlich warmen Sees oder Erwärmung eines kalten Sees aber läßt durch Konvektionsströmungen die Mächtigkeit der gleichwarmen (homothermen) Oberflächenschicht solange zunehmen, bis die Schichtung zerstört ist. Daher teilte Forel die Seen nach ihrem thermischen Verhalten ein in 1. tropische Seen: Ihre Temperatur ist stets und in allen Schichten über + 4°, sie sind also stets direkt geschichtet, und zwar am deutlichsten in der warmen Jahreszeit. In

46) Pet. Mitt. 1911, II. 306.

der kalten nimmt die Mächtigkeit der Oberflächenschicht stark zu, die thermische Schichtung verschwindet fast ganz. Hierher gehören alle Seen ohne Eisbildung, auch in höheren Breiten. 2. Die polaren Seen haben stets Temperaturen unter + 4° und sind stets verkehrt geschichtet, namentlich bei vorwiegender Wärmeabgabe; in der wärmeren Jahreszeit wird die Schichtung nahezu aufgehoben. Hierher gehören außer den Seen der Polarregion auch die hochgelegenen Gebirgsseen gemäßigter Breiten. 3. Die temperierten Seen haben im Sommer direkte, im Winter verkehrte Schichtung, im Herbst und Frühjahr in allen Schichten Ausgleich auf + 4°; hierher gehören die meisten Seen mittlerer Breiten.

Die Oberflächentemperaturen der Seen und jener einige m mächtigen Schicht, in der sich die täglichen Temperaturunterschiede noch bemerkbar machen, haben denselben täglichen Gang wie die Lufttemperatur, doch sind wegen der hohen spezifischen Wärme des Wassers die Extreme noch mehr gegen den Sonnenstand verspätet und die Amplitude wesentlich geringer als bei der Lufttemperatur. Die mittlere Tagestemperatur wird etwa um 11 Uhr vorm., das Maximum um 4 Uhr nachm., das Minimum um etwa 5 Uhr vorm. erreicht. In der jährlichen Periode zeigt sich gleichfalls eine Verspätung des Maximums, und zwar bei den Alpenseen ziemlich unabhängig von der Seehöhe bis in den September. Das Minimum hingegen tritt um so später auf, je höher der See liegt, beim Traun- und Wörthersee im März, bei den über 2000 m hoch gelegenen Seen der Niederen Tauern erst im Mai oder Juni, so daß Maximum und Minimum nur mehr um 2—3 Monate auseinanderliegen. Die Ursache dieser Verspätung sieht Merz[47]) darin, daß im Winter die Eisdecke durch ihre Schneelast herabgedrückt wird, wobei sie in wärmeres Wasser kommt, von unten abschmilzt und dem Wasser Wärme entzieht. Da dieses Schmelzwasser leichter ist, bleibt es obenauf schwimmen, so daß die Abkühlung auf die Oberfläche beschränkt bleibt. Da dieser Vorgang in großen Höhen bis tief in das Frühjahr andauert, verzögert sich auch der Beginn der sommerlichen Erwärmung. Zugleich nimmt die Jahresamplitude ab.

---

47) Seenstudien in den Niedern Tauern, Mitt. k. k. Geogr. Ges. Wien 1909.

Einen sehr wichtigen Einfluß auf die Größe der Jahresamplitude üben die Abflußverhältnisse aus. Wie Brückner gezeigt hat[48]), haben bei ungefähr gleicher Seehöhe und sonstiger Lage Seen mit sehr hohen Sommertemperaturen zugleich auch sehr tiefe Wintertemperaturen, also eine große Amplitude (18—21°), solche mit relativ kühlen Sommertemperaturen auch ziemlich milde Wintertemperaturen, also eine Schwankung von nur etwa 10—13°. Besonders auffallend ist der Gegensatz zwischen Comer und Luganer See, Hallstätter und Zeller See, Wörther und Wocheiner See:

| | Seehöhe m | Areal qkm | Wintermittel | Sommermittel | Amplitude |
|---|---|---|---|---|---|
| Comer See . . . . | 199 | 144,4 | 6,6° | 18,0° | 11,4° |
| Luganersee . . . . | 274 | 50,5 | 6,4 | 23,6 | 17,2 |
| Hallstättersee . . . | 494 | 8,6 | 3,8 | 13,3 | 9,5 |
| Zeller See . . . . | 750 | 4,7 | 1,0 | 17,5 | 16,5 |
| Wörthersee . . . . | 439 | 19,4 | 1,5 | 22,3 | 20,8 |
| Wocheinersee . . . | 523 | 3,3 | 2,8 | 16,1 | 13,3 |

Zu den Alpenseen mit großer, kontinentaler Schwankung gehören außer dem Zeller-, Wörther- und Luganersee auch noch der Veldeser- und Millstättersee, zur Gruppe der Seen mit gemäßigter Schwankung außer dem Comer-, Hallstätter- und Wocheinersee auch Boden-, Genfer-, Neuenburger- und Gardasee. Erstere sind aber zugleich auch Seen mit kleinem Abfluß, letztere solche mit großem Einzugsgebiet, also großem Zu- und Abfluß. Der Grund des verschiedenen Verhaltens liegt darin, daß der Abfluß im Sommer gerade das warme Oberflächenwasser abzieht, so daß dann das kältere Tiefenwasser an die Oberfläche kommt; Seen mit großem Abfluß sind also im Sommer an der Oberfläche kühl. Im Winter ist umgekehrt das Oberflächenwasser kälter und nach seinem Abzug erscheint etwas wärmeres Tiefenwasser; solche Seen sind also im Winter relativ warm und haben selten Eis. Das Umgekehrte gilt bei Seen mit kleinem Abfluß, die wenig Oberflächenwasser verlieren, so daß Einstrahlung und Ausstrahlung ungehindert wirken können. Dazu kommt noch die Wirkung der verschiedenen Art der thermischen Schichtung. Da bei den tropischen und temperierten Seen die Schichtung im Sommer besonders scharf auftritt, ist bei ihnen die abkühlende Wirkung eines starken Abflusses im Sommer viel bedeutender als die erwärmende

48) Zur Thermik der Alpenseen, Geogr. Zeitschr. XV. 1909.

im Winter. Diese Wirkung wird dort am größten sein müssen, wo das kälteste Wasser, weil es bereits unter die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums gesunken ist, obenauf schwimmt, also bei den temperierten Seen, während bei den nicht soweit abgekühlten tropischen Seen die winterliche Einwirkung des Abflusses geringer ist.

Die Temperaturen in der Tiefe, gewöhnlich gemessen mit einem sog. Kipp- oder Umkehrthermometer, zeigen im Sommer die zuerst von Buchanan und Fitzgerald in schottischen Seen und dann von E. Richter 1889 im Wörthersee beobachtete Eigentümlichkeit[49]), daß sie nicht gleichmäßig mit der Tiefe abnehmen, sondern bis etwa 10—12 m Tiefe sich nur wenig ändern, dann aber rasch abnehmen, bis von etwa 15—20 m an die Differenzen wieder kleiner und endlich unmerklich werden:

| Tiefen in m . . | 0 | 5 | 10 | 10,4 | 10,8 | 11 | 11,4 | 11,8 | 12 | 15 | 20 | 30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temperaturen °C | 17,8 | 17,5 | 17,5 | 17,4 | 17,4 | 15,2 | 13,0 | 11,6 | 10,7 | 8,0 | 6,8 | 6,2 |

Diese Schicht mit der raschesten Temperaturabnahme nannte Richter die Sprungschicht; sie hat sich seither, wenn auch in etwas verschiedener Lage und Ausbildung, in allen Seen vom temperierten und weniger deutlich auch bei den vom tropischen Typus gezeigt. Über die Frage nach der Verlagerung der Sprungschicht mit den Jahreszeiten haben namentlich die Beobachtungen von Wedderburn im Loch Neß in Schottland (1903/5) Klarheit gebracht.[50]) Im Winter herrscht hier vollkommene Homothermie bis zum Boden; es gehört also dieser See zum tropischen Typus; im Frühjahr beginnt unter dem Einfluß der Erwärmung sich Schichtung zu entwickeln, aber eine eigentliche Sprung- (oder Gefäll-)schicht kommt erst im Frühsommer nahe der Oberfläche zur Ausbildung, wird nun immer deutlicher und rückt in immer größere Tiefe, bis sie im September, wenn die Oberflächentemperatur ihr Maximum erreicht hat, ihre tiefste Lage besitzt. Die oberflächlichen Schichten sind dann bei Nacht nahezu homotherm, während bei Tag vertikale Temperaturabnahme herrscht. Mit fortschreitender Abkühlung wird die Sprungschicht immer undeutlicher

49) Seenstudien, Geograph. Abh. VI. 2, 1897.

50) Transact. Royal Soc. Edinburgh. XLV. 1907. II. Teil. — Übereinstimmend sind die jüngsten Beobachtungen im Züricher See nach Maurer, Met. Z. 1917, S. 193.

und rückt immer höher, bis sie völlig verschwindet. Sie kommt ferner um so deutlicher zur Ausbildung, je kräftiger die Erwärmung im Frühsommer war; endlich findet sie sich in einem See gleichzeitig nicht überall in gleicher Tiefe.

Die Entstehung der Sprungschicht erklärte E. Richter durch die Konvektionsströmungen, durch die in den oberen Schichten ein Temperaturausgleich herbeigeführt wird, so daß hier nahezu gleiche Temperaturen sich einstellen. Der Temperatursprung entstehe also an der unteren Grenze der Konvektion, wo das herabsinkende Wasser bereits Wasser von solcher Temperatur und Dichte antrifft, daß es nicht mehr tiefer sinken kann. Merz[51]) hat dagegen mit Recht eingewendet, daß das herabsinkende Wasser dort, wo es solches gleicher Temperatur trifft, nicht mehr erwärmend wirken kann. Bei ungestörter, von Tag zu Tag zunehmender Einstrahlung müßte das Bereich der Konvektion immer schmäler werden, die Sprungschicht immer mehr hinaufrücken. Jede Störung des normalen Ganges der Erwärmung müßte über der älteren Sprungschicht eine neue entstehen lassen, was der Beobachtung widerspricht. Daher erklärt Merz die Sprungschicht einerseits aus der allmählichen Summierung der Einstrahlung an der unteren Grenze ihrer Einwirkung, andererseits aus Wind- und Wellenwirkung. Die dadurch bewirkte Durchmischung erzeugt, wie beobachtet wurde, eine Tieferlegung und Verschärfung der Sprungschicht oder ihre Bildung, wenn nur überhaupt ein vertikales Temperaturgefälle vorhanden war. Durch das vom Winde eingeleitete Zirkulationssystem (Abb. 19) erhalten die Isothermenflächen ein Gefälle nach der Luvseite. Ist nun eine Sprungschicht bereits vorhanden, so scheidet sie die ganze Masse in zwei Schichten von verschiedener Temperatur und Dichte; der ponderale Widerstand verhindert eine gleichmäßige Vermischung und einen Wärmeausgleich. Unter der Sprungschicht entsteht ein entgegengesetzt gerichtetes, aber bedeutend schwächeres Zirkulationssystem dadurch, daß der Gegenstrom Wasser der unteren Schicht mitschleppt. Wärmemischung ist also nur auf die obere Schicht beschränkt und es wird der thermische Gegensatz zur unteren Schicht verschärft.

Diese Bewegungen dauern noch an, wenn der Wind abgeflaut

51) Mitt. Ver. d. G. a. d. Univers. Leipzig I. 1911.

ist. Die Isothermen führen in der Umgebung der Sprungschicht Pendelschwingungen aus, so daß in einer bestimmten Tiefe gleichzeitig an dem einen Ende des Sees ein Maximum, am andern ein Minimum herrscht, während in der Mitte des Sees die Amplitude Null ist. Derartige interne thermische Seiches wurden am Loch Neß in Schottland mit einer Periode von 2—3 Tagen[52], von Exner[53]) im Wolfgangsee mit eintägiger Periode und als Verlagerung der Sprungschicht auch am Sakrower See bei Berlin[54]) beobachtet. Die Zerlegung des Sees in zwei Massen von verschiedenen Bewegungsvorgängen ist auch für den Gasaustausch in verschiedenen Tiefen wichtig.

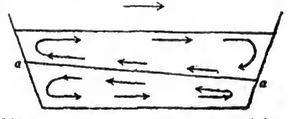


Abb. 19. Zirkulationssystem durch Windströmungen. (*a a* = Sprungschicht.)

Es vermag also nach Merz Wind- und Wellenwirkung auch ohne Mitwirkung von Konvektion eine Sprungschicht zu schaffen und eine bereits vorhandene zu verschärfen, aber auch zu vernichten. Je mehr die beiden durch die Sprungschicht getrennten Massen wieder in sich thermisch geschichtet sind, desto schärfer kommt die Sprungschicht zur Ausbildung; je homogener sie in sich sind, desto stärker ist die Durchmischung bis in große Tiefen. Daher werden im Frühjahr die Windströmungen gemeinsam mit der Einstrahlung eine Sprungschicht bilden oder verschärfen, im Herbst gemeinsam mit der Konvektion sie vernichten.

Unterhalb der Grenze der Einwirkung der jahreszeitlichen Unterschiede, die in temperierten Seen oft erst in 100—200 m Tiefe liegt, herrscht bis zum Boden fast völlige Homothermie. Geringe Schwankungen von 0,1—0,3° dürften weniger auf das Herabsinken wärmeren trüben Flußwassers als auf die Einwirkung des bis zu großen Tiefen herabreichenden Gegenstroms des untern Systems der Windzirkulation zurückzuführen sein. Bei manchen Seen wurde eine konstante Temperaturerhöhung am Boden beobachtet mit Beträgen von 0,6—2,5, die durch die Erdwärme

52) Watson, Geogr. Journ. XXIV. 1904; Wetterburn, Trans. R. Soc. 1907 u. 1911; Merz, Z. Ges. Erdk. Berlin 1912.
53) Sitz.-Ber. W. Ak. d. Wiss. 117. Bd. II a. 1908.
54) Schickendantz, Intern. Revue d. ges. Hydrob. usw. III. 1910. Merz, Z. Ges. Erdk. 1912.

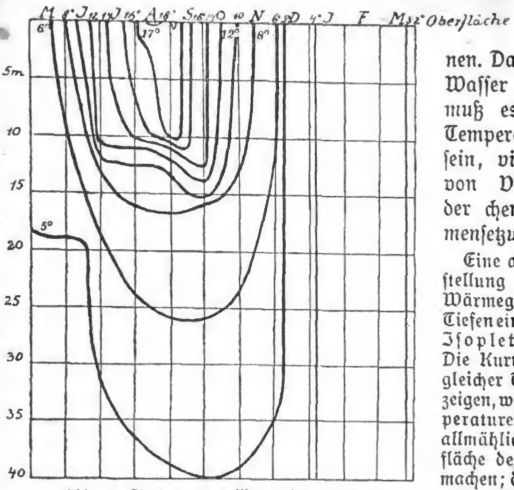



Abb. 20. Isoplethen des Walchensees 1902/3. (Nach v. Aufseß.)

nicht erklärt werden können. Da dieses wärmere Wasser nicht aufsteigt, muß es trotz höherer Temperatur schwerer sein, vielleicht infolge von Verschiedenheiten der chemischen Zusammensetzung.

Eine anschauliche Darstellung des jährlichen Wärmegangs in allen Tiefen eines Sees geben die Isoplethen (Abb. 20). Die Kurven sind Linien gleicher Temperatur und zeigen, wie die kalten Temperaturen des Frühjahres allmählich an der Oberfläche den höheren Platz machen; die Sprungschicht und ihre Verlagerung zeigt sich in der engen Aneinanderdrängung, die gleichmäßigen Wintertemperaturen in allen Tiefen im geradlinigen Verlauf der Kurven.

Das Eis der Seen.[55]) Sobald die verkehrte Schichtung eingetreten ist, kann kein kälteres Wasser mehr von der Tiefe emporbringen, daher die Abkühlung der Oberfläche rasch fortschreiten und schließlich die Eisbildung beginnen kann. Die Dauer des Zeitraums vom Beginn der verkehrten Schichtung bis zum „Aneisen“ hängt also in erster Linie von der Tiefe des Sees ab; tiefe Seen gefrieren viel später als seichte, da bei ihnen die Abkühlung der ganzen Masse bis auf 4° viel länger dauert. Die Eisbildung beginnt stets an den Uferbänken und überhaupt an den seichten Stellen und schreitet von da seewärts vor. An der Mündung von Flüssen verzögert Mischung und Bewegung die Eisbildung, zu-

55) Müllner, Vereisung der ö. Alpenseen, Geogr. Abh. VII. 3, 1903; Cholnoky, Das Eis des Balatonsees, Res. d. wiss. Unters. d. Balaton I. 5, 1909; Götzinger Eisverhältnisse der Lunzer Seen, Intern. Revue d. ges. Hydrob. 1917.

mal im Winter das Flußwasser oft wärmer ist als das Seewasser und sich an der Oberfläche ausbreitet. Auch der Wind verhindert bei sehr niedrigen Lufttemperaturen die Schließung des Sees. Ungehinderte nächtliche Strahlung von der Wasserfläche führt bisweilen eine sehr rasche völlige Vereisung herbei, wie dies 1909 am Züricher See der Fall war.

Bei ruhiger Seeoberfläche beginnt die Eisbildung mit der Bildung langer, sich kreuzender Eisnadeln, die sich zu einem Netz verdichten, worauf sich zwischen sie eine dünne Eishaut legt. Darauf wächst das Eis dadurch weiter, daß sich dünne Plättchen an die Unterseite der ersten Decke anlegen und der Masse stengelige Struktur verleihen. Dieser Vorgang geschieht wegen der Volumsvermehrung beim Gefrieren unter Druck, so daß die Eisdecke zerspringt oder wulstige Auftreibungen sich bilden. Bei bewegter Seefläche beginnt die Eisbildung wie auf Flüssen mit der Bildung zuerst lockerer, dann immer fester werdender Schollen, die selbständig wachsen und zusammengefrieren, sobald Windstille eintritt. Allgemein erfolgt das Dickenwachstum der Eisdecke bei anhaltendem trockenem Frostwetter anfangs rasch und verlangsamt sich immer mehr. Fällt Schnee auf das Eis, so schützt er das Eis und das Wasser darunter vor Ausstrahlung und das Tiefenwachstum hört auf. Aber indem Wasser durch Sprünge aufgepreßt wird, mischt es sich mit dem Schnee zu einem Brei (sog. Topfen), der durch neuerliche Fröste zu Schneeeis wird. Durch neuerliche Schneefälle können mehrere Schneeeisschichten durch Lagen von Schneebrei oder Wasser getrennt sein. Dabei wird das untere Kerneis an seiner Basis vom wärmeren Seewasser angeschmolzen und kann gegen das Frühjahr hin völlig aufgezehrt sein. Bei hochgelegenen Seen kann die Eisbildung nach langen Schneefällen aus dem schwimmenden Schneebrei mit dem trüben, luftreichen und körnigen Schneeeis beginnen. An der Oberfläche ist die Seeeisdecke gewöhnlich von zahllosen Spalten durchsetzt, die durch die oberflächliche Abkühlung entstehen. Durch Erwärmung können sich Eisfelder aneinander verschieben und am Ufer aufpressen und Eiswälle bilden, die mitunter zerstörend wirken. An den Kreuzungsstellen der größeren Spalten, aber auch über Quellen- und Grundwasseraustrittstellen entstehen die sog. Dampflöcher, wo das austretende wärmere Wasser in der kalten Luft verdampft.

Das Aufgehen der Eisdecke erfolgt meist viel rascher als ihre Bildung. An der Oberfläche bildet sich durch Abtauen des Schnee-eises ein Schneesumpf; über der Uferbank schmilzt das Eis durch Erwärmung vom Ufer oder direkte Strahlung zuerst und zerfällt dabei in kerzenartige Stengel; die Unterschmelzung durch das wärmere Seewasser schreitet weiter. Endlich vollenden das Hochwasser durch Heben und Zertrümmern der Decke, Windwirkung durch Auftürmen der geborstenen Tafeln und Wellenwirkung die Zerstörung.

Die thermische Bilanz der Seen. Durch Vergleich der Temperatursummen in einem bestimmten Profil von Schicht zu Schicht zur Zeit des wärmsten und kältesten Zustands im Jahre fand Forel, daß die Wärmeaufspeicherung in den Seen und ihre Wärmeabgabe in Europa mit wachsender geographischer Breite zunehme, daß also die nördlichen Seen eine große thermische Bilanz haben. Brückner betonte auch bei dieser Frage die Bedeutung der Größe des Abflusses. Bei großem Abfluß, also kleiner jährlicher Temperaturschwankung an der Oberfläche muß eine vertikale Wassersäule eine geringere Jahresamplitude ihres Wärmeinhaltes haben als in einem See mit kleinem Abfluß und großer Oberflächenamplitude. Das zeigt z. B. der Vergleich von Genfer See und See von Annecy, Comer und Ortasee. Einige Seen von Nordeuropa mit großer thermischer Bilanz haben nun tatsächlich auch einen relativ kleinen Abfluß, wie z. B. der Loch Katrin und Wettersee. Andere aber, wie der Ladoga- und Enaresee, haben trotz großem Abfluß einen ganz ungeheuren Wärmeumsatz. Maßgebend dürften hierfür sein die Kontinentalität des Klimas, aber auch die auffallend großen Temperaturunterschiede im Laufe des Jahres selbst noch in großen Tiefen. So hat der Ladogasee noch in 80 m Tiefe eine Amplitude von 5°, in 200 m Tiefe von 1,6°. Es ist dies nach Hamberg die Folge der überhaupt tiefen Oberflächentemperaturen dieser Seen. Denn diese bewirken eine weit ausgiebigere Mischung der Wasserschichten durch den Wind, der ponderale Widerstand ist geringer; die Wärme verbreitet sich von der Oberfläche bis in große Tiefen, und zwar um so tiefer, je näher die Temperatur an + 4° C liegt. Bei höheren Oberflächentemperaturen aber wirken die Oberflächenschichten wie ein Wärme isolierender Schirm, der das Tiefenwasser gegen die Ein-

wirkung von der Oberfläche schützt. Seen mit überhaupt tiefen Temperaturen müssen also viel mehr Wärme umsetzen und auch noch in bedeutenden Tiefen große Schwankungen haben. So wirken also der Einfluß der Breite, des verschieden großen Abflusses, der Kontinentalität des Klimas und verschieden hoher Oberflächentemperaturen und demgemäß verschieden starker Durchmischung des Seewassers auf die thermische Bilanz der Seen ein. Nach den Zusammenstellungen von Brückner beträgt der Wärmeumsatz in Kalorien nach Beobachtungen, die jeweils zu Beginn des Frühjahrs und zur Zeit des höchsten Wärmezustandes gemacht wurden, beim:

| | bis 40 m Tiefe | bis zum Boden | | bis 40 m Tiefe | bis zum Boden |
|---|---|---|---|---|---|
| Genfer See. . . . . | 2240 | 2385 | Wettersee . . . . . | 3281 | 4057 |
| Comer See. . . . . | 2730 | 3125 | Mjösensee . . . . . | 3336 | 4388 |
| Orta See . . . . . | 3050 | 3320 | Ladogasee . . . . . | 2711 | 9217 |
| See von Annecy . . | 3340 | 3460 | Enaresee . . . . . . | 4580 | 8240 |
| Loch Katrin . . . . | 3056 | 4261 | | | |

Auf dem Wärmehaushalt der Seen beruht endlich auch ihr klimatologischer Einfluß auf die Umgebung. Da die Luft im Winter meist kälter, im Sommer wärmer ist als das Wasser der Seeoberfläche, gibt dieses im Winter Wärme an die Luft ab, im Sommer wirkt es abkühlend. Es wirkt also ein See mildernd auf das Klima seiner Umgebung. Wo sich eine Eisdecke bildet, bedingt die beim Gefrieren frei werdende Wärme eine Milderung der Witterung, während umgekehrt beim Schmelzen des Eises Wärme gebunden wird. Die Eisdecke wirkt also sowohl auf den Eintritt des Winters als auch des Frühlings verzögernd. Verstärkt werden diese Wirkungen durch die über den Seen infolge der thermischen Differenzen gegenüber der Luft sich ergebenden Windsysteme. Bekannte Beispiele für den mildernden Einfluß einer großen Seefläche auf das Klima ihrer Umgebung sind die oberitalienischen Randseen, der Issyk-Kul im Tianschan und namentlich die großen kanadischen Seen, die die Halbinsel zwischen Michigan-, Huronen- und Eriesee zu einer klimatischen Oase mit auffallend warmen Herbst- und Wintertemperaturen machen.[56])

56) Hann, Handb. d. Klimatologie. 2. Aufl. 1911, III. 358.

### 5. Die chemischen und optischen Eigenschaften des Seewassers.

Die chemische Beschaffenheit des Seewassers hängt ab von der Zusammensetzung des Wassers seiner Zuflüsse, von den Veränderungen, die das Wasser während seines Aufenthaltes im See erfährt, und von den Abflußverhältnissen und damit vom Klima der Umgebung des Sees. Wenn die Verdunstung über der Seefläche kleiner ist als die Niederschlagsmenge, so erfährt der Salzgehalt des Flußwassers im See durch das hinzukommende Regenwasser eine Verdünnung. Ist die Verdunstung größer als der Niederschlag, so kann es im See zu chemischen Niederschlägen kommen. Dies wird besonders dadurch begünstigt, daß durch das Chlorophyll der Wasserpflanzen die Kohlensäure des Wassers reduziert wird, so daß von den als Bikarbonate im Wasser gelöst vorhandenen Salzen die weniger löslichen Karbonate niedergeschlagen werden. Umgekehrt absorbieren die Tiere den Sauerstoff und geben Kohlensäure und Ammoniaksalze an das Wasser ab. Tiere und Pflanzen aber sondern in ihren Skeletten Karbonate, Phosphate und Kieselsäure ab und geben Anlaß zur Bildung organogener Sedimente. Endlich vermag das Seewasser die Gesteine der Umrandung teilweise zu lösen. Während der Abfluß die chemische Zusammensetzung des Seewassers qualitativ nicht zu ändern vermag, trägt die Verdunstung zur Konzentrierung der Lösung, zur Sättigung und zum Niederschlag der Salze je nach dem Grade der Sättigung bei. Bei den vollkommenen Flußseen ist daher der Salzgehalt des Seewassers und des Abflusses höchstens gleich dem des Zuflusses, überhaupt gering und zeigt nur sehr geringe jährliche Schwankungen; bei den unvollkommenen Flußseen findet eine wenn auch unbedeutende Konzentration des Salzgehaltes statt, das Wasser des Abflusses ist etwas salzreicher als das des Zuflusses; die Schwankungen des Salzgehaltes sind sowohl in der jährlichen als auch in längeren Perioden bedeutend. Stets abflußlose Seen haben meist einen hohen und mit dem Alter des Sees zunehmenden Salzgehalt, da die Verdunstung nur chemisch reines Wasser entführt; er zeigt große Schwankungen je nach der Regen- und Trockenzeit und den feuchteren und trockeneren Perioden, aber auch von Ort zu Ort, indem das Seewasser in

der Nähe der Einmündung des Zuflusses sich mehr dessen Beschaffenheit nähert.[57])

Unabhängig von diesen Unterschieden führen die durch thermische Verschiedenheiten bedingten Strömungen eine dauernde Schichtung des Seewassers nach seiner Salinität herbei, die tieferen Schichten sind stets salzreicher als die oberen. Da ferner das Seewasser an der Oberfläche in steter Berührung mit der Atmosphäre steht, so findet hier ein ungehinderter Gasaustausch statt und es ist das Oberflächenwasser mit Gasen, namentlich Sauerstoff und bei pflanzenreichen Seen meist auch mit Kohlensäure gesättigt, also gut durchlüftet und schwach säuerlich. Das Wasser der tieferen Schichten, das ursprünglich Oberflächenwasser war, enthält die dem gewöhnlichen Druck entsprechende Gasmenge und zwar die der kalten Jahreszeit, da in dieser das Wasser in die Tiefe gesunken ist. Hier wird durch die Tiere und Pflanzen Sauerstoff absorbiert und Kohlensäure produziert; am Boden, wo grüne Pflanzen fehlen und daher auch der Assimilierungsprozeß des Chlorophylls nicht zur Geltung kommt, entsteht ein Überschuß an Kohlensäure und ein Defizit des Sauerstoffs. Jedoch bringt die Durchmischung des Wassers bis zum Boden im Winter auch wieder Sauerstoff in die Tiefe; daher ist dann der Sauerstoffgehalt in allen Schichten gleich groß, wie die Untersuchungen im Sakrower See gezeigt haben.[58]) Sobald aber eine thermische Schichtung sich entwickelt, nimmt der Sauerstoffgehalt mit der Tiefe wieder ab und verschwindet endlich durch Absorption ganz, da die unteren Schichten von der Kommunikation mit der Atmosphäre abgeschnitten sind. An seine Stelle tritt dann der Schwefelwasserstoff. Im Herbst nimmt der Sauerstoffgehalt wieder zu und der Schwefelwasserstoff verschwindet, ein Wechsel, der für die vertikale Verbreitung der Organismen und damit auch für die Fischerei von großer Bedeutung ist.

Die Qualität des Salzgehalts ist zwar in jedem See etwas verschieden, doch zeigen in der Regel Flußseen (mit 0,01—0,02 %

57) So beträgt im Kaspisee der Salzgehalt im nördlichen Teil, nahe der Wolgamündung bloß 1,4 ‰, im übrigen See ziemlich gleichmäßig 14 ‰, im abgeschlossenen flachen Golf Karabugas aber 285 ‰.

58) Schickendanz. Intern. Rev. d. ges. Hydrob. III. 1910 u. Merz Z. Ges. f. Erdk. Berlin 1912.

Salzgehalt) ein Vorwiegen der Karbonate. In abflußlosen Gebieten müssen die Karbonate aus zwei Gründen zurücktreten; erstens führen die Flüsse pflanzenarmer Gebiete überhaupt wenig Kohlensäure, die zumeist von der Zersetzung vegetabiler Stoffe herrührt, und daher auch wenig kohlensauren Kalk, da dieser nur bei Anwesenheit von freier Kohlensäure in Lösung vorkommen kann; zweitens muß eben wegen des Mangels an Kohlensäure der weiterhin noch zugeführte kohlensaure Kalk, sei es direkt, sei es durch Organismen, ausgeschieden werden. Daher zeigt sich bei schwach salzigen Seen bereits ein relatives Vorherrschen der Alkali-Karbonate oder der Sulfate und Chloride. Bei den eigentlichen Salzseen (mit über 5 % Salzgehalt) unterscheidet man je nach dem vorherrschenden Salz die am zahlreichsten vorkommenden *Salzseen im engern Sinne* mit vorwiegendem Kochsalz, daneben Chlormagnesium, schwefelsaurer Magnesia und schwefelsaurem Natron (z. B. Großer Salzsee von Utah mit 186 $‰$ Salzgehalt, während im Eltonsee [270 $‰$] und Toten Meer [237 $‰$] das Chlormagnesium überwiegt), ferner *Natronseen*, in denen neben Kochsalz kohlensaures und schwefelsaures Natron die Hauptbestandteile sind (Wansee 19 $‰$, Owens Lake in Kalifornien 77 $‰$, der Güsgündag in Armenien 368 $‰$, die kleinen Seen der ungarischen Steppe), endlich die seltenen *Boraxseen* (in Zentralasien, Persien und Kalifornien), die neben Borax stets auch Kochsalz enthalten. Die Ausscheidung der Salze geschieht in den Salzseen bei steigender Konzentration je nach dem Sättigungspunkt der Salzlösung, und zwar scheiden sich zuerst die am schwersten löslichen Stoffe, die Sulfate und Karbonate aus, dann die Na-Chloride, endlich die leichtest löslichen K- und Mg-Salze. So zeigt der Karabugas bereits Ausscheidung der Natriumsalze und ein Vorherrschen der Mg-Chloride.[59]

In vielen Fällen ist die Größe des Salzgehalts von Endseen durch ihr geologisches Alter bestimmt; daraus erklärt es sich auch, daß viele Endseen noch süßes oder nur schwach salziges Wasser haben, weil sie erst durch eine junge Klimaveränderung ihren Abfluß eingebüßt haben, wie z. B. der Tsadsee, Aralsee und Issyk-kul.

59) Daß die Salzausscheidung in der Natur wirklich in dieser Weise sich vollzieht, zeigt namentlich das berühmte Salzlager von Staßfurt bei Magdeburg.

Unter den optischen Eigenschaften des Seewassers kommt seine Durchsichtigkeit und seine Eigenfarbe in Betracht. Erstere hängt in gleicher Tiefe ab von der Temperatur, indem reines kaltes Wasser einen etwas größeren Absorptionskoeffizienten für Lichtstrahlen besitzt und daher durchsichtiger ist als wärmeres, ferner von der Menge der im Wasser suspendierten Teilchen, die gleichfalls absorbierend und für die Lichtstrahlen wie ein Nebel wirken. Diesen Vorgang nannte Forel Okkultation. Andererseits aber wird ein Teil des eindringenden Lichtes reflektiert, der andere gebrochen; dieser erleuchtet das Wasser, wobei die festen Teilchen im Wasser diffus reflektierend wirken und eine allgemeine Erleuchtung bedingen. Ein in reinem Wasser untersinkender Körper bleibt solange sichtbar, als das von ihm reflektierte Licht auf seinem Rückweg zur Oberfläche nicht völlig absorbiert wird. Die Grenze der absoluten Dunkelheit liegt dort, wo in absolut reinem Wasser alles Licht ausgelöscht wird, und ist für jede Wellenlänge verschieden, indem rotes Licht am wenigsten tief, blaues am tiefsten eindringt. Die suspendierten Teilchen bewirken also eine Hinaufrückung der Grenze der absoluten Dunkelheit und der Sichttiefe.

Die Sichttiefe, bestimmt durch das Versenken weißer Scheiben[60]), ist stets im Winter etwa doppelt so groß wie im Sommer (z. B. im Bodensee Januar 6,6 m, Juli 4,3 m) sowohl wegen der geringeren Trübung des Wassers durch mineralische Sinkstoffe und des Fehlens des pflanzlichen Blütenstaubes, als auch weil im Sommer das Plankton weit entwickelter ist als im Winter. Dazu kommen noch verschiedene lokale und regionale Störungen. Die großen Verschiedenheiten bei den einzelnen Seen führen sich zum Teil auf den verschiedenen Gehalt der Zuflüsse an ungelösten Stoffen, zum Teil auf die verschiedene Eigenfarbe der Seen zurück; daher hat der blaue Genfer See eine größere Sichttiefe (15,5 m im Januar, 6,8 m im Juli) als der grüne Bodensee; noch größer ist sie im Gardasee, im Lake Tahoe in Kalifornien (33 m) und in der Gouille Verte bei Arosa in der Schweiz (über 80 m). Die Grenze der absoluten Dunkelheit für das mensch-

60) Vgl. namentlich Frhr. v. Aufseß, Die physikal. Eigenschaften der Seen (Braunschweig 1905, S. 37 ff.), wo auch auf gewisse diese Methode beeinflussende psychophysische Momente aufmerksam gemacht wird.

liche Auge wurde durch Versenken künstlicher Lichtquellen bestimmt; sie beträgt z. B. im Genfer See August 1885 für eine Bogenlampe bei vertikalen Strahlen etwa 100 m. Als maximale Tiefe der Belichtung versenkter wasserdicht geschlossener und in der Tiefe automatisch zur Belichtung gebrachter Bromsilberplatten ergab sich im Genfer See 200—240 m, und zwar auch wieder am größten im Winter und wesentlich kleiner als im Wasser des Mittelländischen Meeres.

Die dem Wasser *eigene blaue Farbe*, eine Folge der mit abnehmender Wellenlänge abnehmenden Absorption, erscheint nur bei wenigen Seen in vollkommener Reinheit, z. B. beim Blausee bei Kandern; gewöhnlich zeigt sie Abweichungen nach grün. Nach der sog. chemischen Theorie[61]) besitzt jeder See eine konstante spezifische *Eigenfarbe*, die sich je nach der Trübung nur im Ton und in der Intensität ändert. Fällt man z. B. das Wasser eines grünen Sees durch Zinkchlorid, so wird es zwar durchsichtiger und klarer, aber der Charakter seiner Absorptionskurve bleibt nach der Entfernung der schwebenden Teilchen derselbe; diese tragen also, wenn sie selbst farblos sind, zur Wasserfarbe nichts bei. Alle Abweichungen von der blauen Farbe sind daher nur als Farben von Lösungen verschiedener Substanzen aufzufassen, die auf die blauen Strahlen absorbierend wirken. Als solche kommen vor allem die organischen Stoffe, namentlich die humösen, ferner gelöster Kalk in größeren Mengen, endlich Eisensalze in Betracht. Daher besitzen die *blaue* Farbe die Seen, die hauptsächlich durch Quellen oder durch Zuflüsse gespeist werden, die nur über nacktes Gestein gegangen sind, *grüne* Seen treffen wir in humusärmeren Gegenden, hauptsächlich im Kalkgebirge; wo zahlreiche Verwitterungs- und Verwesungsprodukte vorkommen, wird die Farbe gelb bis braun, so im Urgestein und namentlich in Moorgegenden. Zur Beschreibung der Farbe eines Sees wurden verschiedene Farbenskalen angewendet; so enthält Forels Xanthometer elf Stufen von blau bis gelb durch Mischung von

61) Eine andere Erklärung versucht die sog. Diffraktionstheorie, wonach die Wasserfarbe die Farbe eines trüben Mediums ist, die auf der Zerstreuung der blauen kürzesten Wellen an den kleinsten Partikeln beruht. Diese Theorie hat für das Meerwasser eine gewisse Gültigkeit, wo auch ein Zusammenhang zwischen Durchsichtigkeit und Farbe besteht; vgl. *Aufseß*, Die Farbe der Seen, München 1903.

Ammoniak-Kupfersulfat und Kaliumchromat. Da aber diese Skalen keine wirkliche Wasserfarbe nachahmen, schlägt Aufseß die direkte Bestimmung mit dem Spektroskop vor und unterscheidet nach ihren Absorptionskurven vier Typen: 1. Blau wird nicht absorbiert, Farbe blau (Achensee), 2. blau wird schwach absorbiert, Farbe grün (Walchensee), 3. blau wird stark absorbiert, Farbe gelbgrün (Königssee), 4. blau wird völlig absorbiert, Farbe gelbbraun (Staffelsee).

Eine Änderung der Farbe kann aber doch in einem und demselben See durch starke mechanische Trübung mit farbigem Staub eintreten, z. B. durch sehr reichliche mineralische Bestandteile an der Mündung von Zuflüssen, durch organische Stäubchen, namentlich die Pollenkörner von Koniferen (die sog. Seeblüte) und verschiedenfarbige Algen, die dem Wasser ihre eigene Farbe verleihen, wie das auch im Meerwasser der Fall ist.

## V. Gletscherkunde.

### 1. Die Gletscher im allgemeinen.

Auf der Landoberfläche tritt das Eis in zwei nach Entstehung und Struktur verschiedenen Formen auf: als das Wassereis der Flüsse und Seen, aber auch im Innern von Höhlen und als Bodeneis in den Poren des Bodens, und als Schneeeis, hervorgegangen aus der Umwandlung von lockerem Schnee. Dieses bildet das Material der in den Hochgebirgen und Polarregionen vorkommenden bewegten Eismassen, die wir ohne Rücksicht auf ihre Form und Größe als Gletscher zusammenfassen.

Bei fast allen Gebirgsgletschern läßt sich eine deutliche Scheidung in einen oberen breiteren und flachmuldenförmig gebauten und einen langen, schmalen, konvex gewölbten Teil durchführen. Jener ist das Firn- oder Sammelgebiet, dieser die Gletscherzunge. Nur selten entsendet ein Sammelgebiet zwei Zungen nach entgegengesetzter Richtung. Gewöhnlich ist jeder Gletscher von seinem Nachbar durch felsige Kämme oder Firnschneiden getrennt; häufig aber entströmt eine gemeinsame Zunge einem aus mehreren Teilmulden zusammengesetzten Sammelgebiet oder es vereinigen sich mehrere Zungen, von denen jede aus einem Tal kommt, zu einem zusammengesetzten Gletscher. Diesen Vergletscherungstypus, der für fast alle gletschertragenden Kettengebirge

charakteristisch ist, bezeichnet man als alpinen; bei ihm sind wieder die großen, bis tief in die Täler herabsteigenden Talgletscher von den in Nischen oder „Karen", auf den Gehängen, kleineren Plateauflächen oder in Schluchten liegenden kleineren Eiskörpern zu trennen, die man als Gletscher zweiter Ordnung zusammenfaßt.

Bei manchen Plateaugebirgen sind die konvex gekrümmten Flächen der Hochregion von ausgedehnten flachen Firnmassen bedeckt, aus denen zahlreiche, meist steile Gletscherzungen abfließen; es besitzen also bei diesem norwegischen Vergletscherungstypus viele Zungen ein gemeinsames Sammelgebiet (z. B. Jostedalsbrae 940 qkm mit 24 Zungen). Es bedeutet nur eine quantitative Steigerung dieses Typus, wenn große Landmassen von einer einheitlichen Eisüberflutung betroffen sind, die alle Formen des Untergrunds verhüllt und nur kurze Ausläufer entsendet. Dieser Typus des Binnen- oder Inlandeises ist heute in Grönland und vielen arktischen Inseln, namentlich aber auf dem antarktischen Kontinent über etwa 13 Millionen qkm vertreten. Wo die aus dem Gebirge kommenden Einzelgletscher sich am Fuß des Gebirges zu einer zusammenhängenden, mehr breiten als langen Eismasse vereinigen, spricht man von einer Vorlandvergletscherung, wie sie in Alaska, den kanadischen Kordilleren und Südchile vertreten ist. Endlich werden in einigen Gebirgen Zentralasiens die Gletscherzungen nicht so sehr aus Firnfeldern, sondern durch Eislawinen gespeist, die sich von den überaus steilen Gehängen ablösen. Diesem Typus der Lawinengletscher sind die sog. regenerierten Gletscher verwandt, bei denen die Eismasse an einer steilen Wand völlig zerreißt und in Trümmer aufgelöst herabstürzt, die sich am Fuß der Wand zu einem neuen Gletscher vereinigen.

## 2. Der Haushalt des Gletschers.

Die Erhaltung eines Gletschers in Regionen, wo die Abschmelzung oder Ablation größer ist als die Ernährung durch den hier noch fallenden Schnee, wird dadurch ermöglicht, daß die Gletscherzunge durch die Bewegung beständig neues Material aus dem Firn- oder Nährgebiet erhält, wo die Ernährung die Abschmelzung übertrifft. Beide Räume werden durch eine ideale

Linie getrennt, längs welcher sich fester Niederschlag und Ablation im Laufe eines Jahres das Gleichgewicht halten. Es ist das die untere Grenze der dauernden Schneebedeckung oder die **Schneegrenze**.[62])

Die Lage der Schneegrenze ist sowohl von klimatischen Verhältnissen, namentlich den herrschenden Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen, und von der Exposition gegen die Besonnung, als von orographischen Momenten, namentlich der Steilheit der Gehänge abhängig. Sie erscheint daher in der Natur fast nie als zusammenhängend verfolgbare Linie, sondern wechselt auch im selben Gebirge von Ort zu Ort und von Jahr zu Jahr, so daß einmalige Beobachtungen für vergleichende Betrachtungen unbrauchbar sind. Dasselbe gilt auch von der sog. **Firnlinie**, die auf der Gletscheroberfläche den schneebedeckten Teil vom schneefreien oder „apern" trennt und deren Lage in verschiedenen Jahren je nach der Witterung um einige 100 m schwanken kann. Um daher zu vergleichbaren Werten zu gelangen, wurde der rein physikalische Begriff der **klimatischen** Schneegrenze eingeführt als jener Linie, oberhalb welcher die Sonnenwärme nicht mehr ausreicht, um den auf horizontaler und unbeschatteter Fläche gefallenen Schnee zu schmelzen. Von ihr ist die **orographische** Schneegrenze als jene Linie zu unterscheiden, welche die untern Ränder der in geschützter Lage vorkommenden dauernden Schneeflecken verbindet; man spricht endlich auch von einer **temporären** Schneegrenze als der Grenze der zusammenhängenden Schneebedeckung im Laufe des Jahres; sie fällt zur Zeit ihres höchsten Standes im August mit der wirklichen Schneegrenze zusammen.

Da die direkte Beobachtung der wirklichen Schneegrenze selten möglich ist und fast nie vergleichbare Werte liefert, empfiehlt sich zu diesem Zwecke am besten die Bestimmung der klimatischen Schneegrenze auf indirektem Wege aus dem Ausmaß der Vergletscherung eines Gebirges oder einer Gebirgsgruppe. Für Gebiete mit sehr kleinen Gletschern gelangt man zu einem obern und einem unteren Grenzwert durch den Vergleich der Höhen der eben noch vergletscherten und der nicht mehr gletschertragenden

62) **Paschinger**, Die Schneegrenze, Pet. Mitt., Erg.-H. Nr. 173, 1911.

Gipfel und kann das Mittel aus beiden Zahlengruppen mit großer Annäherung der klimatischen Schneegrenze gleichstellen.[63]) E. Richter[64]) nahm ebenso wie vor ihm E. Brückner für große Gletscher ein Verhältnis von Schmelzgebiet zu Sammelgebiet wie 1:3 an und untersuchte, inwieweit die diesem Verhältnisse folgende Höhenlinie der wirklichen Gletscherentwicklung entspricht; auf diesem Wege erhielt er Schätzungswerte für die klimatische Schneegrenze in den Ostalpen und in Norwegen. Kurowski[65]) fand unter der allerdings nicht ganz zutreffenden Annahme, daß Niederschlag und Abschmelzung mit der Höhe in einem einfachen Verhältnis zu- bzw. abnehmen, daß die auf Höhenschichtenkarten leicht zu berechnende mittlere Höhe eines Gletschers diejenige Linie sein müsse, wo sich diese beiden Faktoren das Gleichgewicht halten, und der wirklichen Firngrenze sehr nahe komme. Indem man diese Berechnung für alle Gletscher einer Gruppe durchführt, gewinnt man recht brauchbare Werte für die Höhe ihrer klimatischen Schneegrenze. Dieselbe Methode hat u. a. Jegerlehner für die Schweiz angewendet.[66]) Heß[67]) endlich ging von der Tatsache aus, daß die Isohypsen im Firngebiet ohne scharfe Richtungsänderung vom Fels auf den Firn übertreten, im Abschmelzungsgebiet aber beim Übergang vom Eis auf den Fels einen Knick bilden und nun nach unten konvex verlaufen; wo die eine Form in die andere übergeht, liegt nach Heß die Firngrenze des Gletschers.

Da somit die Bestimmung der Schneegrenze aus dem Ausmaß der Vergletscherung genaue Karten voraussetzt, sind wir über ihre Höhenlage in den einzelnen Zonen und Gebirgen der Erde noch immer recht unvollkommen unterrichtet. Immerhin ergibt sich aus dem Vergleich, daß die für eine Vergletscherung günstigsten klimatischen Verhältnisse in Gebirgen mit ozeanischem Klima, also reichlicher Feuchtigkeit und Kondensation des aufsteigenden Wasserdampfes in beträchtlichen Höhen, und mit geringen

63) Partsch, Gletscher d. Vorzeit in den Karpathen, 1882, u. Brückner, Vergletscherung des Salzachgebietes. Geogr. Abh. I. 1, 1886.

64) Die Gletscher der Ostalpen, Stuttgart 1888.

65) Geogr. Abh. V. 1, 1891.

66) Beitr. zur Geophysik V. 1902.

67) Verh. Ges. D. Naturforscher, Nürnberg 1893, und „Die Gletscher“, Braunschweig 1904.

Temperaturgegensätzen zwischen Sommer und Winter, also nicht zu großer Schmelzwärme bestehen; das gilt namentlich von den Gebirgen an den Westküsten mittlerer und höherer Breiten, wie Norwegen, Britisch-Nordamerika und Alaska, Chile und der Südinsel von Neuseeland. Die für die Vergletscherung ungünstigsten Verhältnisse finden sich im Innern der Festländer bei großer Lufttrockenheit, geringen Niederschlägen und hoher sommerlicher Schmelzwärme. Dazu kommt der Einfluß gewisser orographischer Verhältnisse. Je massiger ein Gebirge ist, desto größer ist seine Erwärmung, namentlich zur Zeit des höchsten Sonnenstandes und desto höher liegt die Schneegrenze. Daher liegt sie in den größten Massenerhebungen unserer Alpen, der Finsteraarhorn- und Ötztaler Gruppe, weit höher als in den reich gegliederten Gruppen um den St. Gotthardt und in den Hohen Tauern. Hingegen ist das Ansteigen der Schneegrenze von den Rändern des Gebirges gegen das Innere die Folge der in dieser Richtung abnehmenden Menge der Niederschläge.

Für die Ernährung der Gletscher ist die Tatsache wichtig, daß der Niederschlag mit der Höhe zwar zunächst zunimmt, von einer gewissen Höhe an, die in den Alpen jedenfalls über 2200 m liegt, aber wieder abnimmt; jedoch nimmt der Anteil des Schnees am Gesamtniederschlag beständig zu und daher die Schneemengen noch bis zu weit größeren Höhen zu als der Niederschlag überhaupt. In den Zentralalpen der Schweiz fallen in 3000 m Höhe bereits 80—90%, in 3600 m bereits 100% des Niederschlags in fester Form. Nach den wenigen Beobachtungen über diesen Gegenstand dürfte der jährliche Dickenzuwachs der Firnfelder unserer Gletscher etwa 2—3 m Firneis von der Dichte 0,6 betragen; für den Montblanc-Gipfel erreicht er nach Vallot nur mehr 0,5 m.

Das durch die Bewegung des Gletschers in tiefere Regionen gebrachte Material fällt hier der Abschmelzung oder Ablation anheim. An der Gletscheroberfläche besorgt sie in erster Linie die direkte Sonnenstrahlung, dann aber auch die vom Gehänge rückgestrahlte Wärme, die Lufttemperatur, die diffuse Himmelsstrahlung und der Regen, indirekt auch die Verdunstung und Verdichtung des Wasserdampfes über der kälteren Eisoberfläche, wodurch Wärme frei wird. Die jährliche Erniedrigung der Gletscher-

oberfläche ist daher abhängig von der Jahreszeit, indem sie vollkommen stillsteht, solange noch eine Schneedecke den Gletscher verhüllt, und im Hochsommer ihren höchsten Betrag erreicht, ferner von der Witterung und dem Witterungscharakter des ganzen Jahres; sie nimmt ferner am selben Gletscher gegen das Ende und in einem Profil von der Mitte gegen die Ränder zu. Am Hintereisferner fanden Heß und Blümcke 1894/5 die Ablation zu:

| Höhe | 2750—2700 m | 2650—2600 | 2600—2550 | 2500—2450 | Ende 2320 m |
|---|---|---|---|---|---|
| Rand | 3,06 | 4,00 | 4,06 | 6,41 | 7,62 m |
| Mitte | 1,95 | 2,08 | 3,73 | 4,90 | |

Etwa 400 m unter der jeweiligen Schneegrenze beträgt die jährliche Ablation im Durchschnitt in den Alpen 4 m, in Skandinavien 3,3 m, in Grönland 2 m.

Durch die schmelzenden Wirkungen entstehen auf der Gletscheroberfläche verschiedene Schmelzformen, indem Lagen von blasenfreierem Eis als widerstandsfähiger sich als Rippen über das trübere, leichter schmelzbare Eis erheben, Schmelzwasser lange, gewundene Furchen bilden. Einzelne große Gesteinstrümmer schützen ihre Unterlage vor der Abschmelzung und wachsen als Gletschertische über ihre Umgebung gleichsam empor, wobei sie meist nach Süden geneigt sind, da ihr Eisfuß hier am stärksten von der Sonne angegriffen wird. Massenanhäufungen von Schutt erheben sich aus dem gleichen Grunde als Wälle über die schuttfreien Partien. Schlamm- und Sandmassen, die aus dem Eise ausschmelzen, führen zur Bildung von einzelstehenden, oft gesellig auftretenden, bis zu einigen m hohen Sandkegeln. Kleine Fremdkörper, die mehr Strahlung absorbieren als das weiße Eis, schmelzen ein und bilden die sog. Staublöcher, die oft so massenhaft nebeneinander auftreten, daß sie der Gletscheroberfläche ein blatternartiges Aussehen verleihen.

Wo eine Spalte quer zum Bett eines oberflächlichen Schmelzwasserbaches aufreißt, stürzt dieser herab und erweitert seine Bahn, auch wenn die Spalte sich wieder geschlossen hat, zu einem rundlichen Schlot; so entstehen die sog. Gletschermühlen, die oft bis an den Gletschergrund reichen, schlauchartig gewunden, an den Wandungen kanneliert und an der Oberfläche sternförmig gezackt sind. Namentlich auf schwach geneigten, langsam fließen-

den und spaltenarmen Gletschern entstehen durch die vereinigte Wirkung der Ablation durch Sonne und Wasser noch eine ganze Reihe ähnlicher Formen, die an die auf Kalk infolge von dessen Löslichkeit und Klüftigkeit vorkommenden Karstformen erinnern[68]); dazu gehören Trichter in den verschiedensten Dimensionen, leer oder mit Wasser gefüllt und entweder durch die auflösende Wirkung der Schmelzwässer entstanden oder aus verquetschten Spalten hervorgegangen, ferner verschiedengestaltige, aber sehr vergängliche intraglaziale Hohlräume, Röhren und Gänge, die durch die von der Oberfläche ins Innere des Gletschers eindringenden Schmelzwasser entstehen und durch Abschmelzung und Einsturz des Höhendaches zu oberflächlichen Hohlformen werden. In großem Maßstab kommen alle diese Formen auf dem Malaspina- und dem Muirgletscher in Alaska vor; an letzterem werden die intraglazialen Kanäle an der Steilwand sichtbar, mit der der Gletscher ins Meer abbricht.

Eine höchst eigentümliche Abschmelzungsform ist der nicht so sehr auf apern Gletschern als auf Firn- und perennierenden Schneefeldern der tropischen und subtropischen Gebirge, besonders in den Anden und auf den Vulkanen des tropischen Afrika, vorkommende sog. Büßerschnee oder Zackenfirn.[69]) Die Erscheinung besteht darin, daß die Firnfläche in Zacken, Nadeln oder Kämme, getrennt durch tiefe Furchen, oft auch in $1^1/_2$—$2^1/_2$ m hohe, phantastisch aussehende, einzelnstehende Figuren aufgelöst ist. In der Regel erscheinen sie in Reihen angeordnet, die von O nach W streichen, was durch die Streckung der Formen in dieser Richtung zustande kommt. Zweifellos entstehen sie durch die Wirkung der direkten Sonnenstrahlung in längeren Trockenzeiten und bei tiefen Lufttemperaturen; die ungleich starke Schmelzung geht wahrscheinlich auf ursprüngliche Unebenheiten der Firnoberfläche zurück; da die flachschüsselförmigen Vertiefungen an der gegen O und W gelegenen Seite von der Sonne am meisten angegriffen werden, entstehen daraus die O-W gestreckten Furchen.

Abschmelzung findet endlich auch am Grunde des Gletschers statt. Die daran beteiligten Faktoren sind teils die von den Ge-

68) Sieger, Geogr. Zeitschr. I. 1895.

69) Vgl. namentlich Z. Ges. f. Erdk. Berlin 1908, Keidel in Z. f. Gletscherk. IV. 1910, Schoy, Pet. Mitt. 1914, II.

hängen herabstürzenden und durch die Kluft zwischen Fels und Eis unter den Gletscher geratenden Bäche, deren Temperatur im Sommer hoch über 0° ist und die überdies warme Luft mit sich reißen, teils die durch Gletschermühlen bis an den Boden gesaugte wärmere Luft, namentlich aber die Erdwärme. Indem der Gletscher den von ihm bedeckten Boden infolge der geringen Leitungsfähigkeit des Eises für Wärme vor der Ausstrahlung und Abkühlung schützt, ist der Gletscherboden im Jahresmittel wärmer als seine eisfreie Umgebung. Es wirkt also der Gletscher auf seine Unterlage erwärmend und liegt während des ganzen Jahres in einem Bette, dessen Temperatur über dem Schmelzpunkt des Eises ist. Diese Wärme wird zur Unterschmelzung des Eises verwendet. Daher ist der Gletscher nicht an seinem Boden angefroren, sondern ruht nur mit einzelnen breiten Stützen diesem auf, zwischen denen die subglazialen Schmelzwasser zirkulieren können. Nur in den dünnen Randgebieten, wo die Wärmeverluste des Bodens durch Ausstrahlung groß sind, findet ein Anfrieren des Eises statt und ebenso werden schwache und stark zerklüftete Gletscher im Winter am Boden anfrieren. Der größte der subglazialen Hohlräume liegt am Gletscherende. Es ist das oft sehr geräumige Gletschertor, durch das der Gletscherbach austritt, nachdem er alle durch die verschiedenen Vorgänge gebildeten Schmelzwasser gesammelt hat.

Die Gletscherbäche unterscheiden sich durch ihre große Trübung von den oberflächlichen Schmelzwassern. Ihre Temperatur ist im Winter wärmer, im Sommer wesentlich kälter als die Luft (z. B. beim Jambach in Vorarlberg: Luft — Wasser Winter — 4,3°, Sommer 5,7°.[70]) Die Jahresschwankung ist daher auch wesentlich kleiner als die der Luft. Talabwärts nimmt aber die Temperatur rasch zu. Nach ihrer Wasserführung zeigen die Gletscherbäche sehr bedeutende aperiodische Schwankungen je nach der Witterung, die namentlich im Sommer sehr groß sein können, aber auch eine regelmäßige tägliche und jährliche Periode. Erstere[71]) ist bedingt durch den Sonnenstand und den Gang der Temperatur, also durch die Größe der Ablation. Da aber das

70) Greim, Studien aus dem Paznaun, Beitr. z. Geophysik V. 4.

71) Vgl. Brückner, Untersuchungen über die tägliche Periode der Wasserführung usw. in der oberen Rhône, Pet. Mitt. 1895.

Schmelzwasser durch die zahlreichen Spalten des Gletschers nur langsam ausfließt, verspätet sich der Eintritt des Maximums gegenüber dem höchsten Sonnenstand und zwar um so mehr, je größer der Gletscher ist; der Abfluß des Unteraargletschers hat sogar erst um Mitternacht seinen höchsten Stand. Das Minimum tritt meist am Morgen ein, bevor die Ablation an der Oberfläche wieder beginnt. Je größer der Gletscher, desto geringer ist die Amplitude der täglichen Schwankung; denn das Schmelzwasser aus den höchsten Teilen des Gletschers gelangt dann erst zum Gletscherbach, wenn im unteren Teil die abnehmende Ablation ihn schon wieder schwächt. Im Winter ist die tägliche Schwankung wesentlich kleiner und verschwindet dann oft ganz. Sehr groß sind die Schwankungen im jährlichen Gang. Die Rhône führt bald nach dem Austritt aus dem Gletscher im Sommer durchschnittlich fast zehnmal soviel Wasser als im Winter; im Jahre 1900 betrug die mittlere sekundliche Wasserführung im Juli infolge ungewöhnlich starker Abschmelzung sogar das 40fache der von Januar bis März (16,60 cbm gegen 0,405 cbm). Daß aber im Winter die Gletscherbäche nicht vollkommen abstehen, erklärt sich, von dem möglichen Vorkommen von Quellen am Gletschergrund abgesehen, daraus, daß auch dann noch die Erdwärme am Gletscherboden schmelzend wirkt. Ihren Betrag schätzte Heß beim Rhônegletscher auf 8,6% der jährlichen Abschmelzung an der Gletscheroberfläche.[72])

Endlich wirken die mit den Jahreszeiten schwankenden und sich kompensierenden Prozesse der Ernährung und Abschmelzung auch auf das allgemeine Aussehen des Gletschers ein. Mit eingesunkener Oberfläche und von zahlreichen Furchen durchzogen tritt der Gletscher zu Ende der Abschmelzungsperiode in die Zeit winterlicher Schneebedeckung und scheinbar völliger Erstarrung; mit volleren Formen, glatterer, ausgeglichener Oberfläche erscheint er zu Beginn des Sommers aus der Schneedecke wieder. Das Zungenende liegt um ein beträchtliches Stück weiter abwärts als im Spätsommer.[73]) Diese regelmäßige winterliche Schwellung kann daher leicht zur Annahme eines beginnenden größeren Vor-

72) „Die Gletscher", S. 236.

73) Vgl. die Beobachtungen am Untern Grindelwaldgletscher 1895 bis 1897: Baltzer, Denkschr. Schweiz. naturf. Ges. 1898.

stoßes verführen, so daß alle Messungen der Lage von Gletscherenden möglichst zu Ende der sommerlichen Schmelzperiode ausgeführt werden sollten.

### 3. Das Material des Gletschers und seine Struktur.

Die ursprüngliche Nahrung des Gletschers ist der sehr feinkörnige, luftreiche und daher blendend weiße Hochschnee, der Dünen und überhängende Schneeschilde oder Wächten bildet und sich in den obersten Lagen durch Schmelzen und Wiedergefrieren zu einem Eisfirnis oder Krusten von Hocheis umbildet. In den tieferen Lagen geschieht durch Abschmelzen der feinen Nadeln und Spitzen der Schneekristalle und Zusammenfrieren des Schmelzwassers die allmähliche Umbildung zu dem dichteren und körnigen Firn, der das Material der Firnbecken bildet und eine deutliche, zur Oberfläche parallele Schichtung besitzt; jede Schicht entspricht einer winterlichen Niederschlagsperiode, die Schichtflächen den Schmelzperioden, während welcher feiner Staub über die Firnoberfläche gebreitet wurde. Durch neue Schneefälle und die Bewegung nach abwärts gerät jede Schicht in immer größere Tiefe, wobei sich der Firn durch dieselben Vorgänge und den Druck in das kompakte Firneis verwandelt, ein festes, für Wasser undurchlässiges Gefüge von etwa erbsengroßen Körnern mit unregelmäßig verteilten Luftblasen. Das Material der Gletscherzunge aber ist das wesentlich schwerere und luftärmere, für Licht durchlässige und daher blaue Gletschereis, das aus viel größeren, unregelmäßig polyedrischen und gelenkig ineinandergreifenden Körnern besteht und von einem dichten Netz feiner, den Korngrenzen folgender Haarspalten durchzogen ist.[74] Die mittlere Korngröße nimmt sowohl nach der Tiefe als auch auf der Gletscherzunge nach abwärts zu und erreicht Durchmesser bis 12 cm. Wesentlich kleiner sind die Körner der arktischen Gletscher. Jedes Korn ist ein Kristall des hexagonalen Systems mit meist unregelmäßiger Orientierung der Hauptachse; es entspricht also den regelmäßig prismatischen und gleichmäßig orientierten stengeligen Kristallen des Wassereises und baut sich wie diese aus einer großen

74) Emden, Das Gletscherkorn, Zürich 1890; Crammer, Eis- und Gletscherstudien, N. Jb. f. Mineralogie, Beil.-Bd. XVIII. 1903; Tarr und Engeln, Z. f. Gletscherk. IX. 1914/15.

Anzahl sehr dünner und sehr biegsamer Plättchen auf, die bei Pressungen in ihrer Ebene übereinander gleiten und durch seitlichen Druck sich verschieben lassen (sog. Translationsfähigkeit nach Mügge). Bei leichter Schmelzung erscheinen an der Oberfläche der Körner die ausgehenden Ränder dieser Plättchen als feine parallele Rippen; das sind die sog. Forelschen Streifen.

Unter den physikalischen Eigenschaften des Eises ist namentlich sein Verhalten gegen Druckkräfte wichtig. Eine große Anzahl von Experimenten, namentlich von Tammann, Heß, Tarr und Rich, lehrten, daß das Eis durch Druck bleibende Deformationen annimt und sich wie eine zähflüssige Masse verhält, namentlich mit Annäherung an den Schmelzpunkt, ferner daß auch der kleinste langanhaltende und langsam angewendete Druck eine mit der Zeit wachsende Formveränderung erzeugt und daß dies auch für die einzelnen Kristalle gilt. Beim Pressen durch Ausflußöffnungen nimmt die Ausflußgeschwindigkeit mit wachsendem Druck, aber auch bei konstantem Druck mit der Dauer der Beanspruchung zu. Stets aber wächst die Plastizität des Eises mit Annäherung an den Schmelzpunkt und ist von der im Eise eingeschlossenen Schmelzwassermenge abhängig. Damit hängt die bekannte Erscheinung zusammen, daß mit steigendem Druck eine Erniedrigung der Schmelztemperatur eintritt, so daß durch den eigenen Druck des Eises auch bei Temperaturen des Eises unter 0° schon eine Schmelzwassermenge erzeugt wird, die das plastische Fließen begünstigt. Diese Erniedrigung beträgt bei gleichförmigem Druck 0,0075° pro Atmosphäre, ist aber bei ungleichförmigem Druck wesentlich größer, so daß noch bedeutend größere Schmelzwassermengen entstehen müssen und auch bei scheinbar konstantem Druck die Ausflußgeschwindigkeit zunehmen muß. Aus der Schmelzpunkterniedrigung erklärt sich auch die Erscheinung der Regelation, daß nämlich zwei Eisstücke nahe der Schmelztemperatur zu einem Stück zusammengefrieren, wenn sie aneinander gedrückt werden; doch geschieht die Vereinigung auch ohne Druck, wenn sich die beiden Stücke lange genug berühren, da dann die kapillare Anziehung an den Berührungsflächen einen Druck ausübt.

Was endlich die Temperatur des Eises betrifft, so haben mehrfache Beobachtungen ergeben, daß das Eis der Gletscherzunge

auch im Innern recht genau die dem jeweiligen Druck entsprechende Schmelztemperatur besitzt, wie auch theoretisch zu erwarten ist. Denn die von der Oberfläche ausgehende Schmelzung muß im Sommer durch Leitung allmählich die ganze Masse durchdringen und ebenso wird vom Gletschergrund dem Eise Wärme zugeführt, während im Winter das Eis durch eine Schneeschicht vor Wärmeverlust durch Ausstrahlung geschützt ist. Dazu kommt die durch die Bewegung erzeugte Reibungswärme, die bis nahe unter die Oberfläche die Temperatur an den Schmelzpunkt bringt. Im schwach bewegten Firngebiet aber und in sehr hohen Breiten, wo die Schmelzung auch im Sommer sehr gering ist und wenig Wärme eindringen kann, finden sich sehr beträchtlich tiefere Temperaturen. Im Firn des Montblanc-Gipfel maß Vallot schon von 10 m Tiefe an eine konstante Temperatur von etwa — 16°, auf dem grönländischen Binneneise wurden von Koch und Wegener in 3000 m Höhe im Sommer Temperaturen von — 33° in 3 m, von — 31° in 7 m Tiefe beobachtet; das Eis war hier sehr spröde und hart und unserem Gletschereis recht unähnlich. Dieses aber erhält durch die Schmelztemperatur seine hochgradige Plastizität und ist namentlich in den tieferen und mächtigeren Schichten nach Tammanns Ausdruck zum Fließen wie geschaffen.[75])

Mit allen diesen Tatsachen hängt die Umwandlung des Eises in Firneis und dieses in das grobkörnige Gletschereis, also das sog. Kornwachstum zusammen. Dieses vollzieht sich wahrscheinlich sowohl durch ein einfaches Überkristallisieren von Korn zu Korn durch die Wirkung der Molekularkräfte, also ohne Zustandsänderung, indem die von Anfang größeren Körner auf Kosten der kleineren wachsen, als auch unter vorübergehender Verflüssigung durch Druckschmelzung und Wiederverfestigung; auf letztere Vorgänge weist namentlich die Tatsache hin, daß in hohen Breiten, wo Verflüssigungen wohl nur eine geringe Rolle spielen, die Kornstruktur weniger entwickelt ist. Da also mit der Zeit die kleineren Körner von den größeren aufgezehrt werden, ist die mittlere Korngröße eine Funktion der Zeit; daher haben die Rand-

75) Tammann in Ann. d. Physik 1900 u. 1902; Heß, ebda. 1911 u. Z. f. Gletscherk. VII.; Tarr u. Rich, ebda. 1912; Tarr u. Engeln, ebda. 1914; Crammer, ebda. 1905.

und Grundschichten, wo infolge der langsameren Bewegung die Kristalle am längsten auf dem Wege sind, die größten Körner, und die zwischen ihnen auftretenden kleinen sind die Reste von noch nicht völlig aufgezehrten Kristallen.

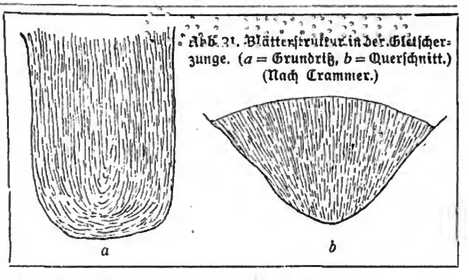


Abb. 21. Blätterstruktur in der Gletscherzunge. (a = Grundriß, b = Querschnitt.) (Nach Crammer.)

Außer der allen Eisarten gemeinsamen Kornstruktur besitzt das Gletschereis noch eine Strukturform höherer Ordnung, die sog. Bänderung oder Blätterung.[76]) Es wird das Eis der Gletscherzunge durch feine Fugen in dünne Blätter zerlegt, die aber nicht zusammenhängend verlaufen, sondern auskeilen, worauf ein anderes Blatt die Richtung des früheren fortsetzt. Die im ganzen fächerförmige Anordnung der Blätter im Querschnitt und ihr talaufwärts gerichtetes Einfallen am Gletscherende im Längsschnitt zeigt Abb. 21; bei Gletscherzungen, die nach unten spitz auslaufen, bleibt die fächerförmige Anordnung bis zum Ende erhalten, bei breiten Zungen verläuft die Bänderung auf der Oberfläche in Bogen parallel zum Gletscherrand. Wo Lagen von luftarmem blauem Eise mit solchen von blasenfreierem weißlichem abwechseln, bilden erstere an der Oberfläche Kämme und Leisten (daher die Bezeichnung Blaublätterstruktur), letztere rinnenförmige Vertiefungen. Vereinigen sich zwei Eisströme zu einem zusammengesetzten Gletscher, so gehen bald unterhalb der Vereinigung die einzelnen Blättersysteme durch die Zusammenpressung in ein Fächersystem über.

Nach der überwiegenden Anschauung ist die Blätterung nichts anderes als die durch die Bewegung des Gletschers umgebildete Schichtung des Firns, da es an mehreren Gletschern gelang, den Übergang schrittweise zu verfolgen. An der Zungenwurzel werden die Schichten an der Oberfläche flach verbogen, in der Tiefe aber

76) Crammer, N. Jb. f. Mineralogie, Beil.-Bd. XVIII. 1903, Z. f. Gletscherk. II. 1908.

bereits gefaltet, dann nimmt die Faltung nach abwärts immer mehr zu, so daß sich die Schichten an der Oberfläche in mehreren talauf- und talabwärts gekrümmten Bogen, den sog. Schmutzbändern oder Ogiven, abbilden. Die Falten werden durch den seitlichen Druck immer mehr ausgewalzt und endlich in immer dünnere Blätter zerteilt, die sich senkrecht zur Druckrichtung und parallel zur Bewegungsrichtung stellen. Wo gelegentlich eine Durchkreuzung von zwei Struktursystemen beobachtet wurde, handelt es sich entweder um junge Wassereisbildungen als Ausfüllung enger Spalten oder um die Überlagerung jüngerer Firnschichten über älteres geblättertes Eis. Gletscher, bei denen es zu keiner Zusammenpressung der Firnmassen in ein schmales Profil kommt, haben auch keine Blätterung; sie fehlt daher u. a. dem antarktischen Inlandeis.

### 4. Die Bewegung der Gletscher.

Die Tatsachen der Gletscherbewegung sind bereits seit vielen Jahrzehnten an zahlreichen Gletschern namentlich der Alpen durch genaue Messungen festgestellt worden, so daß wir über die Gesetze der Geschwindigkeitsverteilung ziemlich gut unterrichtet sind. Stets handelt es sich um kleine, nicht direkt mit den Augen beobachtbare Geschwindigkeiten, wobei für den allgemeinen Durchschnitt ebenso wie bei Flüssen die Neigung des Untergrundes und die Mächtigkeit der strömenden Masse maßgebend sind. Die größeren Alpengletscher haben jährliche Geschwindigkeiten von etwa 40—200 m, die Ausläufer des grönländischen Binneneises aber infolge ihrer gewaltigen Mächtigkeit und des starken Druckes von oben in die relativ engen Abflußkanäle solche bis 6 km (etwa 20 m im Tag). Stets nimmt ebenso wie bei Flüssen die Geschwindigkeit von den Rändern gegen die Mitte zuerst rasch, dann immer langsamer, aber stetig zu, so daß der Stromstrich bei großen Gletschern eine ziemlich breite Zone bildet. In Krümmungen nähert er sich der konkaven Uferseite und bildet eine Schlangenlinie, deren Windungen stärker ausgezogen sind als die Mittellinie des Gletschers. Am Hintereisferner betrug 1895/6 in 2550 m Höhe in den folgenden Entfernungen vom rechten Ufer die jährliche Geschwindigkeit:

| m | 40 | 80 | 120 | 165 | 205 | 255 | 285 | 325 | 355 | 405 | 445 | 500 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m | 27,3 | 29,1 | 30,4 | 32,3 | 38,0 | 32,5 | 33,8 | 33,0 | 33,5 | 37,1 | 27,9 | 19,7 |

In der Längsachse nimmt im allgemeinen mit abnehmender Mächtigkeit die Geschwindigkeit von der Zungenwurzel gegen das Gletscherende ab. Ausnahmen treten dort ein, wo das Gefälle sich steigert, also namentlich in den sog. Gletscherbrüchen, wo das Eis sich scheinbar in ein Gewirr von Blöcken auflöst, die sich aber am Fuß der Stufe wieder vereinigen, so daß der innere Zusammenhang nicht verloren geht. Bei den Ausläufern des grönländischen Binneneises nimmt die Geschwindigkeit gegen den Abbruch ins Meer zu, da sie mitten in ihrer Entwicklung abgebrochen sind. Ferner zeigt sich eine Zunahme der Geschwindigkeit in Verengungen des Profils, die zugleich eine Zunahme der Mächtigkeit bedeuten, und eine Abnahme in Verbreiterungen, noch gesteigert dadurch, daß das Eis infolge der langsameren Bewegung mehr durch Abschmelzung zu leiden hat. Die Abnahme der Geschwindigkeit nach der Tiefe konnte nur selten einwandfrei gemessen werden. Nach den Bohrungen im Hintereisferner bewegt sich die Oberfläche etwa fünfmal rascher als die Grundschichten und es ist die mittlere Querschnittsgeschwindigkeit etwa $^3/_4$ der oberflächlichen.

Aus der Verzögerung und starken Abschmelzung der randlichen Partien ergibt sich als notwendiger Ersatz eine von der Mitte gegen die Ränder gerichtete Transversalbewegung, die namentlich in Weitungen des Gletscherbettes sehr bedeutende Beträge erreichen kann. Endlich wurde von Drygalski am Karajak-Eisstrom in Grönland eine vertikale Komponente der Bewegung erkannt[77]). die in einer Senkung der Mitte und einer Schwellung der Randpartien besteht, wodurch die Ablationsbeträge in der Mitte vergrößert, an den Rändern vermindert werden. Blümcke und Finsterwalder haben diesen vertikalen Anteil der Bewegung am Hintereisferner bestätigt gefunden.[78])

Von der Bewegung des fließenden Wassers unterscheidet sich die Gletscherbewegung aber namentlich dadurch, daß sie keine kontinuierlich fließende ist, bestehend in Verschiebungen von Korn zu Korn, sondern sich aus einzelnen, ungleich großen Rucken zusammensetzt, wobei es zu Verschiebungen an Gleitflächen und auch Überschiebungen an Abscherungsflächen kommt. Damit hängt es zu-

77) Grönlandexpedition der Ges. f. Erdk. Berlin I. 1897.
78) Z. f. Gletscherk. I. 1906/07.

sammen, daß nach den Beobachtungen der obengenannten Forscher am Hintereisferner nicht, wie bisher angenommen wurde, die Gletscher sich allgemein im Sommer rascher bewegen als im Winter; dies gilt in dem genannten Gletscher nur vom untern Drittel der Zunge, wo die starke Durchtränkung mit Schmelzwasser die Reibung verringert, während weiter aufwärts bis zur Firnlinie als Folge des durch die Firnanhäufung gesteigerten Druckes die Winterbewegung überwiegt.[79]) Übersteigt der Druck eine gewisse Größe, so nimmt geradeso wie im Experiment die Ausflußgeschwindigkeit bis zu sehr großen Beträgen konstant zu. Dies war z. B. beim letzten Vorstoß des Vernagtferners der Fall, worauf wir noch bei der Betrachtung der Gletscherschwankungen zurückkommen.

Neben den Druckkräften wirken aber im Gletscher auch Zugspannungen nach abwärts und nach der Mitte oder den Rändern als Folge der ungleichen Geschwindigkeit. Gegenüber langsam wirkenden Zugkräften erweist sich das Eis noch plastisch; wenn aber die Dehnung ein gewisses Maß übersteigt, so zerreißt es. Es entstehen Spalten, die stets senkrecht zur Richtung des größten Zuges verlaufen. Sie bilden zuerst unter schußähnlichem Knall feine Risse, die sich allmählich verbreitern und verlängern, aber nach der Tiefe enger werden, wo die Spannung geringer ist. Nur in der Nähe des Randes und in dünnen Gletschern auch in der Mitte reichen die Spalten bis zum Grund; an der Oberfläche wirkt außerdem noch die Abschmelzung an ihrer Ausweitung mit. Am zahlreichsten sind sie auf steilen Gletschern mit unregelmäßigem Bett, aber auch auf wenig mächtigen, wo die Bewegung am leichtesten durch Unebenheiten des Untergrunds gestört werden kann. Die Spalte wandert mit dem Eise nicht abwärts, sondern knüpft sich stets an dieselbe Stelle der Störung; daher schließt sich die zerklüftete Stelle weiter abwärts wieder, es bleibt eine Narbe oder eine Ausfüllung mit gefrorenem Schmelzwasser zurück, während an derselben Stelle eine neue Spalte aufreißt.

Am häufigsten und regelmäßigsten treten Spalten am Rande auf, wo sie unter 30—45° gegen die Mitte aufwärts verlaufen (Abb. 22). Sie sind die Folge des abwärts und gegen die Mitte

79) Sitz.-Ber. bayr. Ak. d. Wiss. XXXV. 1905.

gerichteten Zuges, klaffen am Rande am stärksten und keilen gegen die Mitte aus. In Krümmungen des Bettes ist die Zerklüftung an der konvexen Uferseite, wo die Verzögerung der Randpartien stärker ist, größer als



Abb. 22. Anordnung der Spalten auf der Gletscherzunge. ($a$ = Randspalten, $b$ = Querspalten, $c$ = Längsspalten.)

an der konkaven. Wo ein Gefällsbruch des Bettes vorliegt, entstehen die quer zur Strömungsrichtung, aber selten zusammenhängend von einem Ufer zum andern verlaufenden Querspalten, die auch tief in das Innere der Eismasse herabreichen können. Bei starken Gefällsknicken entsteht in den Gletscherbrüchen eine völlige Auflösung des Eises in Platten, Pfeiler und Türme, die sich aber am Fuß der Stufe wieder vereinigen. Tritt der Gletscher aus einer Verengung in eine Weitung, so sind die Zugspannungen senkrecht zur Hauptbewegungsrichtung gerichtet; es entstehen die nahezu in der Längsrichtung der Zunge verlaufenden Längsspalten; das ist namentlich nahe dem Gletscherende der Fall, wo sich das Eis kuchenförmig ausbreitet und die Längsspalten fächerförmig und nach unten immer breiter werdend auseinanderlaufen. Im Firnfeld der alpinen Gletscher treten infolge der Unebenheiten des Bettes zahlreiche, meist kurze, aber tiefe Klüfte ohne besondere Gesetzmäßigkeit der Anordnung auf, und zwar wegen der geringeren Kohäsion der obersten Firnschichten schon bei geringen Neigungsänderungen. Da sie bis in den Hochsommer hinein verschneit sind, gehören sie zu den größten Gefahren der Gletscherwelt. Mit großer Regelmäßigkeit tritt nur jene Kluft auf, die den bewegten Firn von dem fest am Felsen haftenden trennt und als eine mannigfach gekrümmte Linie ungefähr senkrecht zur Fallrichtung verläuft. Es ist das der meist schwer passierbare, weil überhängende Bergschrund.

Obwohl man schon längst allgemein die Schwerkraft als das treibende Agens der Gletscherbewegung und diese nicht als ein bloßes Gleiten der ganzen Masse auf geneigter Unterlage erkannt hat, standen sich bei der physikalischen Erklärung der Bewegungserscheinungen noch vor kurzem die Anhänger einer reinen Plastizitätstheorie, wie sie schon 1859 Forbes begründet hatte, und

der Thomson-Tyndallschen Regelationstheorie ziemlich schroff gegenüber. Nach dieser erklärt sich die Beweglichkeit des Eises aus der Erniedrigung seines Schmelzpunktes durch Druck, wodurch die Körner verschiebbar werden; die Plastizität ist nur eine Folge von vorübergehenden Verflüssigungen. Unter den neueren Vertretern einer trockenen Plastizität nach Art der der Metalle erklärte Emden die ganze Bewegung nur durch Kornbiegung ohne Zuhilfenahme von Verflüssigungen. Mügge legte das Hauptgewicht auf die Translationsfähigkeit der das Korn aufbauenden Plättchen. In etwas veränderte Form brachte Drygalski die Regelationstheorie: Wird in einer gewissen Tiefe durch Druckschwankungen ein Teil des Eises geschmolzen, so entweicht das Schmelzwasser der Schwere folgend nach Gebieten niederen Druckes und gefriert dort wieder; dabei wird Wärme frei, die wieder Verflüssigung und damit Volumsverminderung erzeugt, so daß das talaufwärts gelegene Eis nachrücken kann. Dieser beständige partielle Wechsel des Aggregatzustandes ist also die Bedingung des Fließens; doch findet die Verflüssigung nicht nur an den Korngrenzen, sondern auch im Innern der Kristalle statt. Die dadurch eingetretene Lockerung des Gefüges ermöglicht es dem Eise, in der Richtung des Druckes, der sich von Stellen größerer nach solchen geringerer Mächtigkeit fortpflanzt, sich zu bewegen, wobei auch selbständige Bewegungen nach aufwärts vorkommen können. Wesentlich anders ist der Gedankengang von Crammer, der von der Erhaltung der ursprünglichen Schichtung als Blätterung bis ans Gletscherende ausgeht, wobei der an den Schichtflächen haftende feine Staub die Erhaltung begünstigt und ein Überkristallisieren verhindert. Nach ihm besteht die Bewegung in Verschiebungen längs der Blatt- und Schichtflächen, die eine Lockerung längs derselben voraussetzt, die durch die Schmelztemperatur des Eises bewirkt wird; hingegen seien Verschiebungen an den Korngrenzen nicht möglich, da die Körner gelenkig ineinandergreifen. Die Bewegung beginnt also im Firnfeld in Form eines Übereinandergleitens der Schichten in den durch den Druck am meisten erweichten unteren Lagen und besteht auch in der Zunge wesentlich nur in Verschiebungen längs der dünnen Blätter, so daß die Kornstruktur erhalten bleiben kann. Daneben kommt allerdings auch Translation, Streckungen der Kristalle in der

Tiefe und Ortsveränderung des Druckschmelzwassers vor, doch spielen sie für die Eisbewegung keine maßgebende Rolle; hingegen hat Druckschmelzung die große Bedeutung, daß sie die Beweglichkeit des Eises erhöht.

Den älteren Anschauungen über eine Gleitbewegung nähert sich A. Hamberg[80]): Da die Bewegung am Boden und an den Rändern durch Reibung aufgehalten wird, wird das Eis nach Flächen, die zum Untergrund parallel sind, zerbrochen; in der Tiefe formt sich das Eis durch Druck plastisch um, in den spröderen oberflächlicheren Partien lösen sich die Spannungen in Sprüngen aus. Die Blätterung bedeutet also Gleitflächen, die nur gelegentlich an Schichtflächen anknüpfen. In ähnlicher Weise sieht Philipp[81]) in den Blattflächen Abscherungsflächen, an denen Teile des Gletschers gegeneinander verschoben werden. Auch nach Koch[82]) ist die Bewegung vorwiegend ein Gleiten, wobei das Eis in Spalten- und Sprungsysteme zerreißt, die Gleitflächen darstellen. Es ist bezeichnend, daß diese Anschauungen aus Beobachtungen an den gleichsam weniger entwickelten arktischen Gletschern hervorgingen, wo Druckschmelzung eine geringere Rolle spielt und die Plastizität zurücktritt.

Trotz der zahlreichen einander bekämpfenden Ansichten sind aber die Unterschiede der Auffassungen in Wahrheit nicht so groß. Plastizität wird dem Eise von allen Forschern zugebilligt, wenn auch ihre Ursachen verschieden angegeben werden; ebenso ist sicher, daß Druckschmelzung die Bewegungsfähigkeit begünstigt und daß Gleitbewegungen in irgendeiner Form Bedeutung haben. Die verschiedenen Theorien ergänzen sich also mehr, als sie sich aufheben; die relative Bedeutung jeder einzelnen Tatsache, der eine Theorie die entscheidende Bedeutung zumißt, wird aber erst durch weitere Beobachtungen erkannt werden können.

Auf der Voraussetzung einer einfachen, nach Größe und Richtung im Lauf der Zeit unveränderlichen, d. h. stationären, und zugleich stetigen Bewegung (wobei Teilchen, die einmal einander benachbart sind, auch benachbart bleiben) beruht die Finsterwalder-

80) Ymer 1894 und C. R. Congrès internat. de Géogr. Bd. II (Genf 1910).

81) Geol. Rundschau V. 1914, S. 234.

82) Z. f. Gletscherk. X. 1916, S. 1—42.

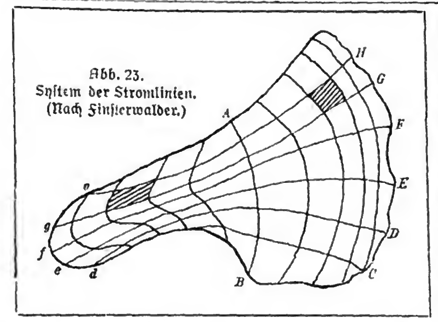


Abb. 23.
System der Stromlinien.
(Nach Finsterwalder.)

sche Strömungstheorie[83]), die von allen physikalischen Ursachen der Gletscherbewegung vollkommen absieht und aus geometrischen Anschauungen zu einer Vorstellung von den im Gletscher vor sich gehenden Bewegungsvorgängen gelangt (Abb. 23). In einem solchen stationären Gletscher verbindet der Weg eines jeden Teilchens oder jede Stromlinie einen Punkt des Firngebietes, wo ein Teilchen Schnee fällt, mit jenem Punkt des Abschmelzungsgebietes, wo dasselbe wieder zu Wasser wird. Im Firngebiet fallen die Stromlinien talabwärts, im Zehrgebiet talaufwärts ein; jedes Teilchen bewegt sich also im Innern des Gletschers. Zwischen den beiden Gebieten liegt die Firnlinie, wo sich Ernährung und Zehrung das Gleichgewicht halten. Die an der obersten Firnumrahmung eingetretenen Stromlinien verlaufen am Gletschergrunde und treten am Gletscherende aus. Hingegen beschreiben Steine auf der Oberfläche des Abschmelzungsgebietes Bewegungslinien, die nach unten strahlenförmig auseinandergehen. Durch sie läßt sich das Schmelzgebiet in beliebig viele Längsstreifen zerlegen, so daß auf jedem derselben in der Zeiteinheit die gleiche Menge Eises abschmilzt. Ziehen wir in allen Punkten der diese Streifen begrenzenden Bewegungslinien die Stromlinien und verlängern sie rückwärts bis zum Schnitt mit der Firnoberfläche, so wird auch diese in Streifen zerlegt, auf denen in der Zeiteinheit gleich viel Schnee fällt. Außerdem teilen wir jeden Längsstreifen im Schmelzgebiet so in Bezirke, daß auf jedem gleichviel zur Abschmelzung kommt; es müssen also diese Maschen nach unten immer kleiner werden. Diese Querteilung läßt sich durch die Stromlinien auf das Firnfeld übertragen

83) Der Vernagtferner, Wissensch. Erg.-H. 3. Zeitschr. d. D. u. Ö. A.-V. I. 1897.

und auch dieses sich so in Maschen zerlegen, daß jedem gleich viel Material zugeführt wird. Sind $F$ und $f$ zwei einander entsprechende Bezirke im Firn-, bzw. Schmelzgebiet, $A$ und $a$ die Größe des Auf- und Abtrages, so besteht die Beziehung $A:a=F:f$, sind ferner $\Phi$ und $\varphi$ die Winkel, unter denen eine Stromlinie im Firngebiet einfällt, bzw. im Schmelzgebiet austritt, $V$ und $v$ die zugehörigen Geschwindigkeiten, so gilt auch: $FA=F\cdot V \sin \Phi = f\cdot a = fv \sin \varphi$; $\sin \Phi = \frac{A}{V}$, $\sin \varphi = \frac{a}{v}$. Daraus folgt auch: Wo die Geschwindigkeit abnimmt und die Ablation wächst, muß beim stationären Gletscher die Böschung wachsen. Dieser Schluß findet seine Bestätigung in den bekannten Tatsachen, daß gegen das Gletscherende im Längsschnitt und gegen die Ränder im Querschnitt mit zunehmender Ablation und abnehmender Geschwindigkeit die Böschung steiler wird.

Nehmen wir nun den vereinfachten Fall einer im Verhältnis zur Breite und Dicke langen, wenig gekrümmten und schwach geneigten Zunge ohne unvermittelte Gefälls- und Querschnittsänderungen, so sind die Stromlinien untereinander, zur Gletscherachse, zum Grund und zur Oberfläche annähernd parallel und die Querschnitte eben und zur Gletscherachse senkrecht. Ist nun $af_1$ ein kleines Stück des ersten Querschnitts mit der Geschwindigkeit $v_1$, $af_2$ das entsprechende Stück des zweiten Querschnitts mit der Geschwindigkeit $v_2$, so ist bei stationärer Strömung: $af_1 v_1 = af_2 v_2$ oder: $af_1 : af_2 = v_2 : v_1$ (Kontinuitätsbedingung für das Innere des Gletschers). Bei den gemachten Annahmen ist das Verhältnis $v_2 : v_1$ nahezu konstant und gleich dem Verhältnis $V_2 : V_1$ der mittleren Geschwindigkeiten; es lassen sich also die Querschnitte äquivalent ineinander abbilden, d. h. ihre Teilchen durch entsprechende Stromlinien verbinden.

Mit diesen Voraussetzungen läßt sich nun auch der Einfluß der Ablation auf die bewegte Eismasse berücksichtigen. Kennt man von zwei benachbarten Querschnitten die Verteilung der Geschwindigkeiten an der Oberfläche, so ist auch die Zeit bekannt, die eine Eispartie braucht, um den Weg zum unterhalb liegenden Querschnitt zurückzulegen. Sind auch die Beträge der Ablation an einem Querschnitt bekannt, so lassen sich die Eisdicken berechnen, die auf dem Weg von diesem Querschnitt zum nächst tieferen verloren gehen. Zieht man diese vom oberen Rand des ersten Querschnitts ab, so geht der Rest in den zweiten Quer-

schnitt über wie bei einem nicht abschmelzenden Gletscher und man erhält nach dem Gesetz der äquivalenten Abbildung ($Q_1 : Q_2 = v_2 : v_1$) die Geschwindigkeitsverteilung im zweiten Querschnitt. Bisher war noch unbekannt die Form der Querschnitte und die gleichfalls direkt schwer zu ermittelnde Geschwindigkeitsverteilung in einem Querschnitt. An deren Stelle kann aber auch die an der Oberfläche treten, die ja gleichfalls die Stromlinien durchschneidet. Kennt man die Ablationsverluste, so lassen sich die durch Ablation verminderten Querschnitte finden und nach unten in die benachbarten unverminderten abbilden. Die aufeinanderfolgenden Abbildungen ergeben das System der Stromlinien und daraus die Geschwindigkeitsverteilung im obersten Querschnitt.

In ähnlicher Weise ließe sich aus der Größe des Firnzuwachses im Nährgebiet auch die Bewegung im Firngebiet darstellen und die Veränderungen feststellen, welche die Schichtflächen im Lauf der Zeit durch die Bewegung erfahren. In Verbindung mit der Ableitung für die Gletscherzunge ergibt sich eine Erklärung für die oft beobachtete Aufrichtung der Schichtflächen gegen das Gletscherende und für den Übergang der Firnschichten in die löffelartige Lagerung in der Gletscherzunge.

Die Finsterwaldersche Strömungstheorie gestattet also, ohne jede physikalische Voraussetzung den Vorgang der Eisbewegung bis ins kleinste zu verfolgen und eine Anzahl von Größen aus geometrischen Ableitungen zu berechnen. Allerdings gilt sie zunächst nur für den idealen Fall eines stationaren Gletschers. Sie ist aber von Heß und Blümcke[84]) mit Erfolg auch für den langsam abschmelzenden Hintereisferner angewendet worden, wobei aus den beobachteten Größen Ablation und Geschwindigkeitsverteilung auf der Oberfläche eine Anzahl von Querschnitten rekonstruiert werden konnte. Der Vergleich der errechneten und der durch Bohrungen wirklich ermittelten Tiefen des Gletschers ergab für die axialen Gebiete bloß einen mittleren Fehler von 4,3 %.

### 5. Die Moränen.

Alle Schuttanhäufungen, die mit dem Gletscher in ursächlicher oder auch nur örtlicher Beziehung stehen, bezeichnet man nach einem in den Walliser Alpen heimischen und durch Charpentier (1841) eingebürgerten Ausdruck als Moränen und unterscheidet die noch heute an der Bewegung des Eises beteiligten Massen als bewegte Moränen von den abgelagerten, die

84) Wiss. Erg.-H. 3. Zeitschr. D. u. Ö. Alp.-Ver. II. 1899.

außerhalb der gegenwärtigen Ausdehnung des Gletschers liegen. Die an den den Gletscher überragenden Gehängen zerstörend wirkenden Vorgänge liefern das Material für die Rand- oder Seitenmoränen. Das auf die Gletscherzunge herabfallende Material wird in ihre Bewegung einbezogen und bildet langgedehnte Schuttanhäufungen ohne Sonderung nach der Größe und mit nach unten zunehmender Mächtigkeit; da sie dem Eise Schutz vor Abschmelzung gewähren, erheben sie sich oft als hohe Wälle über ihre schuttfreie Umgebung. An Gletschern ohne Felsenumrahmung fehlen die Randmoränen. Große Mächtigkeit erreichen sie namentlich auf den Gletschern der Trockenzonen, deren Eis oft meilenweit von Schutt gänzlich verhüllt ist. Wo sich zwei Gletscherzungen vereinigen, fließen auch ihre Randmoränen zusammen und bilden auf der Oberfläche des zusammengesetzten Gletschers eine einfache Mittelmoräne, die sich in nichts von den Randmoränen unterscheidet.

Die am Gletschergrunde fortbewegten Trümmer bilden die Grundmoräne. Sie bildet entweder ein Lager von Sand oder Schlamm mit darin eingebetteten größeren und kleineren Blöcken zwischen Eis und Felsboden, der dann geglättet, poliert und mit Schrammen und Kritzern bedeckt ist, oder sie ist in zum Gletscherboden paralleler Lagerung in die untersten Eisschichten eingebacken, so daß dieselben erdig und undurchsichtig erscheinen. Durch gegenseitige Reibung und das Schieben auf dem Felsboden sind die Trümmer der Grundmoräne mehr oder weniger gerundet oder wenigstens kantenbestoßen und gleichfalls von Kritzern durchzogen, wodurch sie sich von dem eckigen und scharfkantigen Material der einfachen Obermoränen unterscheiden. Die Grundmoräne stammt nur zum kleinsten Teile von der Oberfläche des Gletschers; ihre universelle Verbreitung auch an Gletschern, die keine Obermoränen haben, weist darauf hin, daß der Gletscherboden selbst die Quelle der Grundmoräne ist, aus dem sie durch die erodierende Tätigkeit des Eises losgebrochen und weiter verfrachtet wurde.[85])

Gerundete Trümmer finden sich aber auch sehr häufig auf der Oberfläche des Gletschers entweder allein herrschend oder

85) Über die Einzelheiten und die Bedeutung dieses Vorganges s. des Verfassers „Geomorphologie" (ANuG Bd. 627, S. 80ff.).

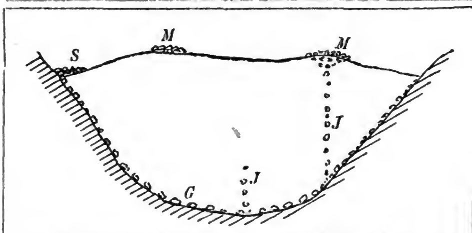



Abb. 24. Verteilung der Moränen im Querschnitt einer Gletscherzunge. ($S$ = Seitenmoränen, $I$ = Innenmoräne, $M$ = Mittelmoränen, $G$ = Grundmoränen.)

unter eckiges Material vermischt. Über die Herkunft dieser sog. unechten Obermoränen klärt die Finsterwaldersche Strömungstheorie auf. Aller Schutt im Gletscher folgt den Stromlinien des Eises. Im Firngebiet wird daher aller Randschutt von den Stromlinien in die Tiefe gezogen, der Grundmoräne einverleibt und quillt mit den Stromlinien am Rand der Zunge wieder heraus. Tritt aber auf der Gletscheroberfläche eine eisfreie Insel auf, so wird an ihr die Stetigkeit der Bewegung unterbrochen. Liegt die Insel im Schmelzgebiet, so wird der von ihrem Fuß stammende Schutt mit den Stromlinien nach oben gezogen und tritt als Mittelmoräne an die Oberfläche, vermischt mit dem von der Oberfläche der Insel stammenden eckigen Schutt. Liegt die eisfreie Insel im Firngebiet, so geht ihr Schutt zunächst in das Innere des Eises ein und tritt mit den Stromlinien im Schmelzgebiet an die Oberfläche. Befindet sich am Gletscherboden eine Aufragung, so teilen sich vor ihr die Stromlinien in zwei Arme und schließen sich hinter ihr wieder zusammen. Dabei sind sie mit dem schuttführenden Grund in Berührung gekommen und ziehen den Schutt in das Gletscherinnere. In beiden Fällen entsteht eine sog. Innenmoräne, die bis auf den Gletschergrund reicht, im ersteren Falle teilweise, im letzteren ganz aus gerundetem Material besteht und im Abschmelzungsgebiet als Mittelmoräne mit nach abwärts zunehmendem Schuttinhalt zum Vorschein kommt. So erklärt sich das scheinbar unvermittelte Auftreten von Mittelmoränen auf der Gletscheroberfläche und das Vorkommen gerundeten Materials inmitten des eckigen der Obermoränen (Abb. 24).

Die vom Gletscher in seinem ehemaligen Verbreitungsgebiet

abgelagerten Moränen bilden entweder eine verschieden mächtige Grundmoränendecke oder langgestreckte Wälle an der Stelle der ehemaligen Eisränder; diese erscheinen dann entweder als Ufermoränen, oft bis 100 m hohe Wälle, entweder an das Gehänge angelagert oder freistehend, oder als Stirn- oder Endmoräne. Diese bildet meist einen talabwärts konvex gekrümmten Wall mit nach innen steilerer Böschung; häufig durchziehen mehrere parallele Wälle den alten Gletscherboden, entsprechend schwächeren Vorstößen oder Haltepunkten während des Rückzuges des Gletschers. In den abgelagerten Moränen sind die eckigen Trümmer der ehemaligen Obermoränen und die gerundeten des Grundschuttes wirr durcheinander gemischt. Indem sie vom Gletscherbach umgelagert und weiter transportiert werden, gehen die glazialen Merkmale allmählich verloren, das Material wird einheitlich gerundet und bald unterscheiden sich diese fluvioglazialen Ablagerungen in nichts mehr von rein fluviatilen Bildungen. Der feine Schlamm der Grundmoräne erzeugt die für Gletscherbäche charakteristische milchige Trübung; ihr Schlammgehalt erreicht ebenso wie die Wasserführung sein Maximum im Hochsommer und nimmt mit der Entfernung vom Gletscherende rasch ab.[86]

### 6. Die Gletscherschwankungen.

Mit dem Wechsel und den Schwankungen der klimatischen Verhältnisse ist die Bewegung und Ausdehnung der Gletscher nicht nur jahreszeitlichen Veränderungen, sondern auch Schwankungen von längerer Periodenlänge unterworfen. Nachrichten über Gletscherschwankungen reichen zwar namentlich in den Alpen an einigen Orten schon mehrere Jahrhunderte zurück; aber erst aus den letzten 40 Jahren haben wir genauere Untersuchungen über das Ausmaß dieser Vorgänge und seit 1894 werden Beobachtungen über Gletscherschwankungen aus nahezu allen Gletschergebieten der Erde gesammelt.[87]

Das Wachsen und Schwinden der Gletscher äußert sich zuerst im Firngebiet und rückt allmählich abwärts. So wurde beim Vernagtferner schon 1893 eine Anschwellung an der Zungenwurzel

86) Gogarten, Zeitschr. f. Gletscherk. III. 1909/10.
87) Ber. d. internat. Gletscherkommission, seit 1906 erschienen in der Z. f. Gletscherk.

konstatiert, während das Gletscherende noch bis 1896 zurückging. Der Vorstoß nimmt meist einen raschen Verlauf und kündigt sich durch eine mitunter sehr bedeutende Beschleunigung der Geschwindigkeit an. So wuchs sie beim Vernagtferner in der Gletscherachse in 2800 m Höhe von 17 m pro Jahr 1889—1891 auf 280 m im Jahre 1899. Auf den Vorstoß folgt zumeist eine kurze Zeit stationären Standes, die Geschwindigkeit nimmt rasch ab und dann beginnt die lange Periode des Rückzugs, wobei in der Regel die Volumsverluste anfangs sehr groß sind und gegen das Ende der Rückzugsperiode abnehmen.

Die Ursachen der Gletscherschwankungen können sowohl in Veränderungen der die Abschmelzung bedingenden Faktoren als der Speisung des Firnfelds durch Niederschläge gesucht werden, doch erzeugen erst durch mehrere Jahre in gleichem Sinn vor sich gehende Veränderungen eine merkbare Veränderung der Gletscherausdehnung.[88]) Wenn sich durch mehrere Jahre im Firnfeld größere Massen ansammeln, als es dem Durchschnitt entspricht, so üben sie auf die vorgelagerte Zunge einen verstärkten Druck aus; diese erhält einen größeren Querschnitt, die Abflußgeschwindigkeit nimmt in ihrer ganzen Länge zu, das Eis verliert auf dem gleichen Wege weniger durch Schmelzung und das Gletscherende stößt vor. Dabei läuft nach den Beobachtungen am Vernagtferner die Anschwellung aus dem Firnfeld wie die Hochwasserwelle eines Flusses den Gletscher abwärts mit einer Geschwindigkeit, die größer ist als die der Eisbewegung. Wenn nun durch eine Reihe von Jahren die Ansammlungen im Firnfeld unter das durchschnittliche Maß sinken, so nimmt der Druck von oben und die Geschwindigkeit ab; die Abschmelzung hat mehr Zeit zu wirken, dadurch sinkt die Mächtigkeit und die Geschwindigkeit noch mehr und es macht sich der Rückzug des Gletscherendes noch stärker geltend, als nach der Abnahme der Zufuhr zu erwarten wäre.

Für die Alpengletscher hat E. Richter alle Nachrichten über Gletscherschwankungen seit dem Ende des 16. Jahrhunderts zusammengestellt und eine mittlere Länge einer ganzen Vorstoß-

88) Forel, Arch. sc. phys. et nat. Genf 1881, 1887 u. 1900; E. Richter, Der Obersulzbachgletscher, Z. D. u. Ö. Alp.-Ver. 1883 u. „Neue Probleme d. Gletscherk.", Abh. k. k. Geogr. Ges. Wien I. 1899.

und Rückzugsperiode von 35 Jahren ermittelt[89]), so daß mit den von Brückner gefundenen Klimaschwankungen, auch was die Lage der Maxima anbelangt, eine gute Übereinstimmung zu bestehen schien, wenn auch die Vorstöße von sehr verschiedener Intensität waren. Größere Unregelmäßigkeiten zeigten sich aber schon in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Nach 1810 hatten alle Alpengletscher einen sehr starken und gleichzeitigen Vorstoß. Aber während einige Alpengletscher in der neuerlichen Vorstoßperiode 1835—1850 einen noch größeren Stand erreichten, verhielten sich zur selben Zeit viele Schweizer Gletscher sehr ungleich, einige der großen Walliser Gletscher hatten damals überhaupt keinen Vorstoß, andere sogar ein sekundäres Minimum.[90]) Allgemein verbreitet war der nach 1850 einsetzende Rückzug. Aber während schon 1876 einige Gletscher der Montblanc-Gruppe vorzustoßen begannen und diese Tendenz 1884 auch auf die Ostalpen überzugreifen begann, sind eine Anzahl großer und gut beobachteter Talgletscher wie der Rhône- und Aletschgletscher, Hintereis-, Gepatschferner u. a. seit 1856 in ununterbrochenem Rückzug, andere haben den kleinen Vorstoß, der durch die feuchtkalte Periode von 1875—1891 bedingt war, schon wieder beendet und sind von neuem im Rückzug und es verhalten sich benachbarte Gletscher ganz verschieden.

Diese auffallenden Unregelmäßigkeiten scheinen zum Teil in orographischen Verschiedenheiten der Gletscherbetten bedingt zu sein. Steile und kleine Gletscher werden leichter und früher auf klimatische Veränderungen reagieren als große und flache; auch der Breitenunterschied zwischen Firnfeld und Gletscherzunge und damit die Größe der Stauung, die der Gletscher beim Übertritt aus der Mulde in das Tal zu überwinden hat, und endlich die Tiefe des Firnbeckens werden in Betracht kommen. Wahrscheinlich vermögen viele Gletscher in ihren geräumigen Firnmulden durch viele Jahre Schnee aufzuspeichern, ohne daß dieser in die Bewegung einbezogen wird und einen Vorstoß bewirkt. Bei solchen Gletschern erscheint der Vorstoß verspätet oder, wenn der Überschuß an Firn überhaupt gering war, überhaupt nicht, wie das für die letzte feuchtkalte Periode von 1875—1891 der Fall war.

89) Z. D. u. Ö. Alp.-Ver. 1891.
90) Maurer, Met. Z. 1910.

Andererseits scheint aber auch der klimatologische Zusammenhang zwischen Klima- und Gletscherschwankungen ein viel komplizierterer zu sein, als gewöhnlich angenommen wird. Nach Maurer[91]) ist die letzte große Rückzugsperiode seit 1856 wenigstens für die Schweizer Gletscher zustande gekommen durch die Aufeinanderfolge einer langen und sehr wirksamen Periode starker Sonnenstrahlung infolge geringer Bewölkung, also großer Ablation im ersten Teil (1856—1877) und einer relativ großen Niederschlagsarmut in der Firnregion im letzten Teil (1892—1911). Es müssen also die kombinierten Wirkungen aller auf den Gletscher einwirkenden klimatologischen Faktoren herangezogen werden, um die verschiedene Länge der Perioden und das verschiedene Verhalten einzelner Gletschergruppen erklären zu können, während die Verschiedenheiten benachbarter Gletscher auf orographische Momente zurückzuführen sein dürften. Der gegenwärtige Zustand der Alpengletscher ist ein unentschiedener und schwankender; zwar hat als Folge der seit 1912 neuerlich vermehrten Niederschläge die Zahl der vorrückenden Gletscher namentlich in den Ostalpen zugenommen; doch ist bei den meisten Gletschern die Erschöpfung der Firnreservoire soweit vorgeschritten, daß ein größerer allgemeiner Vorstoß kaum zu erwarten ist. Die Verluste einiger großer Gletscher sind:

| | | an Fläche | an Volumen |
|---|---|---|---|
| Rhônegletscher . . . . . . | 1856—1899 | 127 ha = 5 % | > 250 Mill. $m^3$ |
| Suldengletscher . . . . . | 1858—1891 | 68 „ = 7 % | 85 „ |
| Vernagtferner . . . . . . | 1856—1895 | 240 „ = 13 % | 246 „ |
| Hintereisferner . . . . . . | 1856—1902 | 86 „ = 4 % | 200 „ |

Ausschlaggebend ist natürlich die Größe des Volumsverlustes, der im allgemeinen mit der Größe des Gletschers zunimmt; doch besteht in dieser Hinsicht keine einfache Beziehung zur Größe des Sammelbeckens.

Von den anderen Gletschergebieten der Erde hat namentlich Norwegen weiter zurückreichende Nachrichten geliefert.[92]) Hier folgte auf einen sehr kleinen Gletscherstand um 1650 ein verheerender Vorstoß in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts, der größte hier bekannte, worauf durch längere Zeit ein ungefähr stationärer Stand andauerte. Um 1807 bis 1812 erreichten manche Gletscher des südlichen Norwegens wieder fast dieselbe Größe wie 1740; nach einem sehr ausgeprägten Rückzug begann

91) Pet. Mitt. 1914, I.

92) Øyen, Z. f. Gletscherk. I. 47, u. Rekstad, ebda., S. 347.

um 1835 bis 1840 ein neuerlicher Vorstoß mit dem Maximum um 1850. Seither verhielten sich die Gletscher der Küstengebiete wesentlich anders als die des Innern. Während erstere von 1850 bis 1870 stark schwanden und dann vorstießen, begann im Innern der Vorstoß erst um 1870 und der folgende Vorstoß war nur wenig ausgeprägt. In den achtziger und neunziger Jahren war der Rückgang allgemein, worauf seit 1900 an zahlreichen Gletschern ein Vorstoß beobachtet wurde, der aber gegenwärtig wieder erloschen ist. Es ist also die Länge der Perioden und ihre Lage recht unsicher und schwankend und die Übereinstimmung mit den Alpengletschern keine ganz vollständige.

Wieder etwas andere Verhältnisse zeigt Island[93]: Anwachsen um 1735, Hochstand gegen Ende des 18. Jahrhunderts, ein Rückzug stellt sich stellenweise sehr verspätet ein, so am Vatna Jökull erst nach 1880. Ein Hochstand um 1840 bis 1860 ist ferner erwiesen von einigen Gletschern Spitzbergens, der Pyrenäen und des Kaukasus, aber nicht von Grönland. Die Tendenz zum Rückzug herrscht heute noch in allen Gletschergebieten der Erde und war nur stellenweise, z. B. in Zentralasien, Alaska und Argentinien, durch unbedeutende, episodenhafte Vorstöße unterbrochen.

Außer diesen Gletscherschwankungen von kurzer Dauer und oft unbedeutendem Ausmaß scheint es auch solche von mehrhundertjähriger Periode zu geben, für die wir freilich nur unsichere Anhaltspunkte haben. So dürften die Alpengletscher zu Ende des Mittelalters und bis ins 16. Jahrhundert noch kleiner gewesen sein als heute und niemals in historischen Zeiten größer als zu Beginn des vorigen Jahrhunderts. Aber auch diese Schwankungen sind an Größe unvergleichlich mit den Klimaänderungen der jüngsten geologischen Vergangenheit, die uns in den wiederholten Vergletscherungs- und eisfreien Perioden des Eiszeitalters entgegentreten.

---

93) Rabot, Z. f. Gletscherk. I. 132 u. Reck ebda. V. 265.

# Empfehlenswerte Literatur.

Außer den im Text angeführten Einzeldarstellungen seien noch folgende größere und zusammenfassende Werke genannt:

H. Haas, Quellenkunde. Lehre von der Bildung und vom Vorkommen der Quellen und des Grundwassers. Leipzig 1895.

H. v. Höfer, Grundwasser und Quellen. Eine Hydrogeologie des Untergrunds. Braunschweig 1912.

K. Keilhack, Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde, Berlin 1912.

H. Gravelius, Grundriß der gesamten Gewässerkunde. Bisher erschienen: Bd. I. Flußkunde, Berlin und Leipzig 1914.

Handbuch der Ingenieurwissenschaften, 4. Aufl. III. Teil, 1. Band: Gewässerkunde, bearbeitet von J. F. Bubendey, P. Gerhardt und R. Jasmund. Leipzig 1911.

Wertvolles Material enthalten die deutschen Stromwerke: Der Rheinstrom und seine wichtigsten Nebenflüsse, herausg. vom Zentralbureau f. Meteorologie und Hydrographie im Großherz. Baden, Berlin 1899, und die Veröffentlichungen des preuß. Hochwasser-Ausschusses: Der Oderstrom 1896; Der Elbestrom 1898, Memel, Pregel und Weichsel 1900, Weser und Ems 1902.

F. A. Forel, Handbuch der Seenkunde. Stuttgart 1901.

O. Fh. v. u. z. Aufseß, Die physikalischen Eigenschaften der Seen. Braunschweig 1905.

A. Heim, Handbuch der Gletscherkunde. Stuttgart 1885.

J. Tyndall, Die Gletscher der Alpen. Braunschweig 1898.

H. Heß, Die Gletscher. Braunschweig 1904.

# Erklärung fremdsprachiger Fachausdrücke.

Ablation (auferre wegnehmen) Wegnahme, Abschmelzung
abradieren (abradere wegschaben) zerstören
Absorption Aufsaugung
Akkumulation (cumulus Haufen) Anhäufung
aliquoter Teil, ein Teil des Ganzen, der eine Anzahl mal genommen, das zu teilende Ganze ergibt
äquivalent (aequus gleich, valere gelten) gleichwertig
äolisch (Aeolus Gott der Winde) durch den Wind erzeugt
binodal (bis zweimal, nodus Knoten) zweiknotig
Detritus (de weg, terere reiben) Zerreibsel
Diffusion (dis auseinander, fundere gießen) Ergießung, allmähliche Mischung
Doline slav. Grube, Loch, Tal
Erosion (rodere nagen) Ausnagung
Exposition (ponere legen) Auslage
Flexur (flectere biegen) Abbiegung, Beugung
fluvioglazial (fluvius Fluß, glacies Eis) Schmelzwasser-
Fumarole (fumus Rauch, Dampf) Dampfausströmung
Glaziologie (glacies Eis, logos Kunde) Lehre vom Eis
homotherm (homos gleich, thermos warm) gleichmäßig waren
Infiltration, Einsickerung
interdiurn (inter zwischen, dies Tag) von Tag zu Tag
Interferenz (ferre tragen) Zusammentreffen
intermittierend (mittere senden) aussetzend, unterbrechend
intraglazial (intra innerhalb, glacies Eis) innerhalb des Eises
Isobathen (isos gleich, bathos Tiefe) Linien, die Punkte gleicher Tiefe verbinden
Isohypsen (hypsos hoch) Linien, die Orte gleicher Höhe verbinden
isoklinal (klinein neigen) in gleicher Richtung geneigt
Isoplethen (Plethos Menge) Linien, die Punkte gleicher Wärmemenge verbinden
Isotachen (tachüs geschwind) Linien, die Punkte gleicher Geschwindigkeit verbinden
Isothermen (thermos warm) Linien, die Punkte gleicher Wärme verbinden
juvenil, jugendlich
klastisch, aus der Zerstörung (anderer Gesteine) hervorgegangen, Trümmer (= Gesteine)
Kondensation (densus dicht) Verdichtung
Konvektion (vehi führen) Fortführung von Wärme durch Strömungen
Konsumtion, Verbrauch, Verwendung
Limnimeter, Seespiegelmesser
Limnograph, Seespiegelschreiber
Limnologie, Seenkunde
litoral (litus Küste) an der Küste gelegen
Ogiven, gekrümmte Linien
Okkultation (occultus dunkel) Verdunkelung
organogen, durch Organismen entstanden

pelagisch (pelagos Meer) im offenen Meer befindlich
perennierend (perennis beständig) andauernd
Permeabilität (permeare durchwandern) Durchlässigkeit
plurinodal (plures mehrere, nodus Knoten) mehrknotig
Polje slaw. Feld, Becken
ponderal (pondus Gewicht) durch das Gewicht bestimmt
Ponor slav. Schlundloch
Potamologie (potamos Fluß) Flußkunde
Regelation Wiedergefrierung
regeneriert neu entstanden
Retention (tenere halten) Zurückhaltung
Salinität (Sal Salz) Beschaffenheit des Salzgehalts
Sediment (sedere sitzen) Ablagerung
subaquatisch (sub unter, aqua Wasser) unter dem Wasser befindlich
subglazial (sub unter, glacies Eis) unter dem Eise befindlich
sublakuster (sub unter, lacus See) unter dem See befindlich
submarin (sub unter, mare Meer) unter dem Meere befindlich
superaquatisch (super über, aqua Wasser) über dem Wasser befindlich
suspendiert, schwebend
temporär (tempus Zeit) zeitweilig
Translation (trans über, ferre tragen) Übereinanderschiebung
uninodal (unus eins, nodus Koten) einknotig
vados (vadere gehen) durchsickernd
Xanthometer (xanthos gelb) Farbenmesser.

# Sachregister.

**Beiträge zur Kenntnis der Eiszeit im Kaukasus.** Von Privatdozent Dr. A. von Reinhard. Mit 1 Karte, 9 Abb. u. 9 Profilen auf 3 Tafeln. Geh. M. 6.—

„Verf. hat während 4 Jahren das Kaukasusgebirge durchforscht und vor allem die Teile, über die noch wenig zusammenhängende Beobachtungen vorlagen. Wir erhalten somit einen guten Überblick über die Gesamterscheinung." (Geolog. Rundschau.)

**An der See.** Geologisch-geographische Betrachtungen von Prof. Dr. P. Dahms. Mit 61 Abbildungen im Text. Geb. . . M. 3.—

„Die Schrift, die ein reiches und vielseitiges Wissen umschließt, gibt Zeugnis von scharfer und gleichzeitig liebevoller Betrachtung der Natur. Sie will das Verständnis für den Strand und seine Wunder wecken und erschließen und zugleich einen Einblick gewähren in den eigenartigen Charakter der Küstenbewohner." (Monatsschr. f. höh. Schul.)

**Geologische Wanderungen am Schwäbischen Meere.** Ein methodischer Beitrag zur Heimatkunde. Von Dir. Prof. Dr. K. G. Volk. Mit 14 Abb. Geh. M. 1.—

„Wir wüßten kein besseres Werk, das als Vorbild dazu dienen könnte, wie jeder seine geologische Heimatkunde treiben soll."
(Württ. Schulwochenbl.)

**Schichtenfolge Mitteldeutschlands.** Zu Tabellen zusammengestellt für den Gebrauch auf geol. Wanderungen. Von Dr. Th. Brandes. Kart. . . . . M. —.50

„Ein Heft, das in die Tasche jedes Wanderers gehört, der sich für Geologie interessiert. Es ist ein praktisches ‚Vademekum' für Geologen und verdient weiteste Verbreitung."
(Die Mittelschule.)

**Unsere Kohlen.** Von Bergassessor P. Kukuk. Mit 60 Abb. Geh. M. 1.20, geb. M. 1.50

„Eine vortreffliche Darstellung alles Wissenswerten über die Kohlen mit Einschluß des Torfes... Die Textfiguren sind vorzüglich, die Karten und die Formationsgliederung des Carbons sehr übersichtlich."
(Geol. Rundschau.)

**Die deutschen Salzlagerstätten.** Ihr Vorkommen, ihre Entstehung und die Verwertung ihrer Produkte in Industrie und Landwirtschaft. Von Dr. Carl Riemann. Mit 27 Abb. Geh. M. 1.20, geb. . M. 1.50

Behandelt die Entstehung der Salzlagerstätten, die Gewinnung der verschiedenen Salze, deren Verarbeitung und Verwendung in Landwirtschaft und Industrie.

**Die Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes.** I. Teil: Das Gebiet zwischen Elbe und Oder. Von Dr. E. Wunderlich. Geh. . . M. 5.20

Ausgehend von den in den letzten Jahren gewonnenen stratigraphisch-geologischen Ergebnissen sucht Verf. an der Hand einer systematischen Analyse der verschiedenen Gebiete in der Hauptsache die Frage zu beantworten, ob das Relief Norddeutschlands ausschließlich durch die letzte Vereisung bedingt ist oder mit dem Ausdehnungsbereich verschiedener Vereisungen in genetischer Beziehung steht.

**Geographische Abhandlungen,** hrsg. von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Penck-Berlin. In zwangl., einz. käufl. Bänden bzw. Heften. Mit v. Abb., Kart. u. Plänen. gr. 8. Geh. I. Bd. 3 Hefte. 1886/87. M. 20.— II. Bd. 3 Hefte. 1887/88. M. 23.— III. Bd. 3 Hefte. 1888/89. M. 21.— IV. Bd. 2 Hefte. 1889/90. M. 20.— V. Bd. 5 Hefte. 1891/96. M. 20.— VI. Bd. 3 Hefte (mit Atlas). 1896/98. M. 39.70. VII. Bd. 4 Hefte. 1900/06. M. 16.20. VIII. Bd. 3 Hefte. 1902/05. M. 22.— IX. Bd. 1907. 1. Heft. 2. Heft je M. 6.— 1910. 3. Heft M. 8. X. Bd. 1914. 1. Heft M. 10.— 2. Heft M. 3.60. Neue Folge. Veröffentlichungen des geograph. Instituts a. d. Univers. Berlin. 1. Heft. 2. Heft je M. 6.— 3. Heft M. 5.20. (Die Sammlung wird fortgesetzt.)

Die „Geographischen Abhandlungen" bilden eine Serie wissenschaftlicher Untersuchungen aus dem Gesamtgebiete der Geographie. Ihr Gegenstand ist sowohl dem Bereiche der allgemeinen Erdkunde wie auch dem der Länderkunde, dann und wann dem der Geschichte der geographischen Wissenschaft entnommen.

Hefte verwandten Inhalts werden zu Bänden vereinigt. Jährlich wird mindestens ein Heft und nicht mehr als ein Band erscheinen.

## Vermessungs- und Kartenkunde

7 Bände. (ANuG Bd. 606—612.) Jeder Band mit Abbildungen. Geheftet je M 1.20, gebunden je M. 1.50

**Geographische Ortsbestimmung.** Von Prof. Schnauder . . . . . . (Bd. 606.)

**Erdmessung.** V. Prof. Dr. O. Eggert. (607.)

**Die Landmessung.** Von Steuerrat Suckow. (Bd. 608.)

**Ausgleichungsrechnung.** Von Geh. Reg.-Rat Prof. E. Hegemann . . . (Bd. 609.)

**Photogrammetrie und Stereophotogrammetrie.** Von Dipl.-Ing. Hermann Lüscher. . . . . . . . . . . . (Bd. 610.)

**Kartenkunde.** Von Finanzrat Dr.-Ing. A. Egerer. I. Einführung in das Kartenverständnis. II. Kartenherstellung (Landesaufnahme). . . . . . . . . . . (Bd. 611/612.)

Auf sämtliche Preise Teuerungszuschläge des Verlages und der Buchhandlungen

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

**Mission.** Die evangelische. Geschichte. Arbeitsweise. Heutiger Stand. V. Pastor S. Baudert. (Bd. 406.)
**Mystik** in Heidentum u. Christentum. V. Prof. Dr. Edv. Lehmann. 2. Aufl. V. Verf. durchges. übersetz. v. Anna Grundtvig geb. Quittenbaum. (Bd. 217.)
**Mythologie,** Germanische. Von Prof Dr. J. von Negelein. 3. Aufl. (Bd. 95.)
**Naturphilosophie,** Die moderne. V. Priv.-Doz. Dr. J. M. Verweyen. 2. A. (491.)
**Palästina** und seine Geschichte. Von Prof. Dr. H. Frh. v. Soden. 4. Aufl. Mit 1 Plan von Jerusalem und 3 Ansichten des Heiligen Landes. (Bd. 6.)
— P. u. s. Kultur in 5 Jahrtausenden. Nach d. neuest. Ausgrabgn. u. Forschgn. dargest. von Prof. Dr. P. Thomsen. 2., neubearb. Aufl. M. 37 Abb. (260.)
**Paulus.** Der Apostel, u. sein Werk. Von Prof. Dr. E. Vischer. (Bd. 309.)
**Philosophie.** Die. Einführ. i. d. Wissensch., ihr Wes. u. ihre Probleme. Von Oberrealschuldir. H. Richert. 3. Afl. (186.)
— Einführung in die Ph. Von Prof. Dr. R. Richter. 4. Aufl. von Priv.-Doz. Dr. M. Brahn. (Bd. 155.)
— Führende Denker. Geschichtl. Einleit. in die Philosophie. Von Prof. Dr. J. Cohn. 4. Aufl. Mit 6 Bildn. (Bd. 176.)
— Die Phil. d. Gegenw. in Deutschland. V. Prof. Dr. O. Külpe. 6. Aufl. (41.)
**Poetik.** Von Dr. R. Müller-Freienfels. (Bd. 460.)
**Psychologie,** Einführ. i. d. Ps. V. Prof. Dr. E. von Aster. 2. Afl. M. 4 Abb. (492.)
— Psychologie d. Kindes. V. Prof. Dr. R. Gaupp. 4. Aufl. M. 17 Abb. (213/214.)
— Psychologie d. Verbrechers. (Kriminalpsychol.) V. Strafanstaltsdir. Dr. med. P. Pollitz. 2. Aufl. M. 5 Diagr. (Bd. 248.)
— Einführung in die experiment. Psychologie. Von Prof. Dr. N. Braunshausen. 2. Afl. M. 17 Abb. i. T. (484.)
— s. auch Handschriftenbeurteilg., Hypnotismus u. Sugg., Mechanik d. Geistesleb., Poetik, Seele d. Menschen, Veranlag. u. Vererb., Willensfreiheit; Pädag. Abt. II.
**Reformation** siehe Calvin, Luther.
**Religion.** Die Stellung der R. im Geistesleben. Von Konsistorialrat Lic. Dr. P. Kalweit. 2. Aufl. (Bd. 225.)
— Relig. u. Philosophie im alten Orient. Von Prof. Dr. E. von Aster. (Bd. 521.)
— Einführung in die allg. R.-Geschichte. Von Prof. D. Dr. K. Beth. (Bd. 658.)
— Die nichtchristlichen Kulturreligionen in ihrem gegenwärtigen Zustand. Von Prof. Dr. C. Clemen. (Bd. 583.)
— Die Religion der Griechen. Von Prof. Dr. E. Samter. M. Bilderanh. (Bd. 457.)
— Hellenistisch-röm. Religionsgesch. Von Hofpredig. Lic. A. Jacoby. (Bd. 584.)
**Religion.** D. Grundzüg. d. israel. Religionsgesch. V. Prof. D. Fr. Giesebrecht. 3. A. V. Prof. D. A. Bertholet. (52.)
— Religion u. Naturwissensch. in Kampf u. Fried. E. geschichtl. Rückbl. V. Pfarr. Dr. A. Pfannkuche. 2. A. (Bd. 141.)
— Die relig. Strömungen der Gegenwart. V. Sup. D. A. H. Braasch. 3. A. (66.)
— s. a. Bergson, Buddha, Calvin, Christentum, Luther.
**Rousseau.** Von Prof. Dr. P. Hensel. 3. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 180.)
**Schopenhauer,** Seine Persönlichk., s. Lehre, s. Bedeutg. V. Oberrealschuldir. H. Richert. 3. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 81.)
**Seele des Menschen.** Die. Von Geh. Rat Prof. Dr. J. Rehmke. 4. Aufl. (Bd. 36.)
— siehe Leib u. Seele, auch Psychologie.
**Sexualethik.** Von Prof. Dr. H. E. Timerding. (Bd. 592.)
**Sinne** d. Menschen. D. Sinnesorgane und Sinnesempfind. V. Hofr. Prof. Dr. J. K. Kreibig. 3., vrb. A. M. 30 Abb. (27.)
**Sittl. Lebensanschauungen** d. Gegenwart. V. Gh. Kirchenr. Prof. D. O. Kirn. 3. A. V. Prof. D. Dr. O. Stephan. (177.)
— s. a. Ethik, Sexualethik.
**Spencer,** Herbert. Von Dr. K. Schwarze. Mit 1 Bildnis. (Bd 245.)
**Staat und Kirche** in ihrem gegenseitigen Verhältnis seit der Reformation. Von Pfarr. Dr. A. Pfannkuche. (Bd. 485.)
**Sternglaube und Sterndeutung.** Die Geschichte u. d. Wes. d. Astrolog. Unt. Mitw. v. Geh. Rat Prof. Dr. K. Bezold darg. v. Geh. Hofr. Prof. Dr. Fr. Boll. 2. Aufl. M. 1 Sternk. u. 20 Abb. (Bd. 638.)
**Suggestion** s. Hypnotismus.
**Testament.** Das Alte. Seine Gesch. u. Bedeutg. V. Prof. Dr. P. Thomsen. (609.)
— Neues. Der Text d. N. T. nach s. geschichtl. Entwickl. V. Div.-Pfarr. Prof. Lic. A. Pott. 2. Afl. M. Taf. (Bd 184.)
**Theologie.** Einführung in die Theologie. Von Pastor M. Cornils. (Bd. 347.)
**Veranlagung u. Vererbung.** Geistige. V. Dr. phil. et med. G. Sommer. (Bd. 512.)
**Urchristentum** siehe Christentum.
**Weltanschauung,** Griechische. Von Prof. Dr. M. Wundt. 2. Aufl. (Bd. 329.)
**Weltanschauungen.** D., d. groß. Philosophen der Neuzeit. Von Prof. Dr. L. Busse. 6. Aufl., hrsg. v. Geh. Hofrat Prof. Dr. R. Falckenberg. (Bd. 56.)
**Weltentstehung.** Entsteh. d. W. u. d. Erde nach Sage u. Wissenschaft. Von Prof. Dr. M. B. Weinstein. 3. Aufl. (Bd. 223.)
**Weltuntergang.** Untergang der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft. V. Prof. Dr. M. B. Weinstein. (Bd. 470.)
**Willensfreiheit.** Das Problem der W. Von Prof. Dr. G. F. Lipps. 2. Afl. (Bd. 383.)
— s. a. Ethik, Mechan. d. Geistesleb., Psychol.

## II. Pädagogik und Bildungswesen.

**Berufswahl, Begabung u. Arbeitsleistung** in ihren gegenseitigen Beziehungen. Von W. J. Ruttmann. M. 7 Abb. (Bd. 522.)
**Bildungswesen, D. deutsche, in s. geschichtlichen Entwicklung.** Von Prof. Dr. Fr. Paulsen. 3. Aufl. Von Prof. Dr. W. Münch. M. Bildn. Paulsens. (Bd. 100.)
— s. auch Volksbildungswesen.
**Erziehung. E. zur Arbeit.** Von Prof. Dr. Edv. Lehmann. (Bd. 459.)
— **Deutsche E. in Haus u. Schule.** Von J. Tews. 3. Aufl. (Bd. 159.)
— siehe auch Großstadtpädagogik.
**Fortbildungsschulwesen, Das deutsche.** Von Dir. Dr. F. Schilling. (Bd. 256.)
**Fröbel, Friedrich.** Von Dr. Joh. Prüfer. Mit 1 Tafel. (Bd. 82.)
**Großstadtpädagogik.** V. J. Tews. (327.)
— siehe Erzieh., Schulkämpfe d. Gegenw.
**Herbarts Lehren und Leben.** Von Pastor O. Flügel. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis Herbarts. (Bd. 164.)
**Hochschulen** s. Techn. Hochschulen u. Univ.
**Jugendpflege.** Von Fortbildungsschullehrer W. Wiemann. (Bd. 434.)
**Leibesübungen** siehe Abt. V.
**Mittelschule** s. Volks- u. Mittelschule.
**Pädagogik, Allgemeine.** Von Prof. Dr. Th. Ziegler. 4. Aufl. (Bd. 33.)
— **Experimentelle P.** mit bes. Rücksicht auf die Erzieh. durch die Tat. Von Dr. W. A. Lay. S., vrb. A. M. 6 Abb. (Bd. 224.)
— s. Erzieh., Großstadtpäd.; Handschriftenbeurteilung, Psychol., Veranlag. u. Vererb. Abt. I.
**Pestalozzi.** Leben und Ideen. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. P. Natorp. 3. Aufl. Mit Bildn. u. 1 Brieffaksimile. (Bd. 250.)
**Rousseau.** Von Prof. Dr. P. Hensel. 3. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 180.)
**Schule** siehe Fortbildungs-, Hilfsschulwes., Techn. Hoch-, Mädch.-, Volksschule, Univ.
**Schulhygiene.** Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. M. 33 Fig. (Bd. 96.)
**Schulkämpfe d. Gegenw.** Von J. Tews. 2. Aufl. (Bd. 111.)
— siehe Erziehung, Großstadtpäd.
**Student, Der Leipziger, von 1409 bis 1909.** Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 25 Abb. (Bd. 273.)
**Studententum, Geschichte des deutschen St.** Von Dr. W. Bruchmüller. (Bd. 477.)
**Techn. Hochschulen in Nordamerika.** Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. S. Müller. M. zahlr. Abb., Karte u. Lagepl. (190.)
**Universitäten, Über U. u. Universitätsstud.** V. Prof. Dr. Th. Ziegler. Mit 1 Bildn. Humboldts. (Bd. 411.)
**Unterrichtswesen, Das deutsche, der Gegenwart.** Von Geh. Studienrat Oberrealschuldir. Dr. K. Knabe. (Bd. 299.)
**Volksbildungswesen, Das mod.** V. Stadtbbl. Prof. Dr. G. Fritz. M. 14 Abb. (266.)
**Volks- und Mittelschule, Die preußische,** Entwicklung und Ziele. Von Geh. Reg.- u. Schulrat Dr. A. Sachse. (Bd. 432.)
**Zeichenkunst. Der Weg zur Z.** Ein Büchl. f. theor. u. prkt. Selbstbd. V. Dr. E. Weber. 2. A. M. 81 Abb. u. 1 Farbt. (430.)

## III. Sprache, Literatur, Bildende Kunst und Musik.

**Architektur** siehe Baukunst und Renaissancearchitektur.
**Ästhetik.** Von Prof. Dr. R. Hamann. 2. Aufl. (Bd. 345.)
— **Einführung i. d. Geschichte d. Ä.** Von Dr. H. Nohl. (Bd. 602.)
**Baukunst. Deutsche B.** Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Matthaei. 4 Bd. I. **Deutsche Baukunst im Mittelalter.** V. d. Anf. b. z. Ausgang d. roman. Baukunst. 4. Aufl. Mit 35 Abb. (Bd. 8.) II. **Gotik u. „Spätgotik".** 4. Aufl. Mit 67 Abb. (Bd. 9.) III. **Deutsche Baukunst in d. Renaissance u. d. Barockzeit b. z. Ausg. d. 18. Jahrh.** 2. Afl. Mit 63 Abb. i. Text. (Bd. 326.) IV. **Deutsche B. im 19. Jahrh.** Mit 35 Abb. (Bd. 453.)
— siehe auch Renaissancearchitektur.
**Beethoven** siehe Haydn.
**Bildende Kunst. Bau und Leben der b. K.** Von Dir. Prof. Dr. Th. Volbehr. 2. Aufl. Mit 44 Abb. (Bd. 68.)
— siehe auch Baukunst, Griech. Kunst, Impressionismus, Kunst, Maler, Malerei, Stile.
**Björnson** siehe Ibsen.
**Buch. Wie ein Buch entsteht** siehe Abt. VI.
— s. auch Schrift- u. Buchwesen Abt. IV.
**Dekorative Kunst d. Altertums.** V. Dr. Fr. Poulsen. M. 112 Abb. (Bd. 454.)
**Deutsch** siehe Baukunst, Drama, Frauendichtung, Heldensage, Kunst, Literatur, Lyrik, Maler, Malerei, Personennamen, Romantik, Sprache, Volkslied, Volkssage.
**Drama, Das.** Von Dr. B. Busse. Mit Abb. 3 Bde. I: **Von d. Antike z. franz. Klassizismus.** 2. A., neub. v. Oberl. Dr. Riedlich, Prof. Dr. R. Imelmann u. Prof. Dr. Glaser. M. 3 Abb. II: **Von Versailles bis Weimar.** 2. Aufl. III: **Von d. Romantik z. Gegenwart.** (287/289.)
**Drama, D. dtsche. D. d. 19. Jahrh.** J. s. Entwickl. dgest. v. Prof. Dr. G. Witkowski. 4. Aufl. M. Bildn. Hebbels. (Bd. 51.)
— siehe auch Grillparzer, Hauptmann, Hebbel, Ibsen, Lessing, Literatur, Schiller, Shakespeare, Theater.
**Dürer, Albrecht.** V. Prof. Dr. R. Wustmann. 2. Aufl. von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Matthaei. Mit Titelb. u. zahlr. Abbildungen. (Bd. 97.)

## IV. Geschichte, Kulturgeschichte und Geographie.

**Bürger im Mittelalter** s. Städte.

**Calvin, Johann.** Von Pfarrer Dr. G. Sodeur. Mit 1 Bildnis. 2. Aufl. (Bd. 247.)

**China.** V. Prof. Dr. A. Conrady. (557.)

**Christentum u. Weltgeschichte** seit der Reformation. Von Prof. D. Dr. K. Sell. 2 Bde. (Bd. 297/298.)

**Deutsch** siehe Bauernhaus, Bauernstand, Dorf, Feste, Frauenleben, Geschichte, Handel, Handwerk, Reich, Staat, Städte, Verfassung, Verfassungsrecht, Volkskunde, Volksstämme, Volkstrachten, Wirtschaftsleben usw.

**Deutschtum im Ausland, Das, vor dem Weltkriege.** Von Prof. Dr. R. Hoeniger. 2. Aufl. (Bd. 402.)

**Dorf, Das deutsche.** V. Prof. R. Mielke. 2. Aufl. Mit 51 Abb. (Bd. 192.)

**Eiszeit, Die, und der vorgeschichtliche Mensch.** Von Geh. Bergrat Prof. Dr. G. Steinmann. 2. Aufl. M. 24 Abbildungen. (Bd. 302.)

**Englands Weltmacht** in ihrer Entwickl. seit d. 17. Jahrh. M. Bildn. V. Dir. Prof. Dr. W. Langenbeck. 2. Aufl. (Bd. 174.)

**Entdeckungen, Das Zeitalter der E.** Von Prof. Dr. S. Günther. 3. Aufl. Mit 1 Weltkarte. (Bd. 26.)

**Erde** siehe Mensch u. E.

**Erdkunde, Allgemeine.** 8 Bde. Mit Abb. I. **Die** Erde, ihre Beweg. u. ihre Eigenschaften (math. Geogr. u. Geonomie). Von Admiralitätsr. Prof. Dr. E. Kohlschütter. (Bd. 625.) II. **Die** Atmosphäre der Erde (Klimatologie, Meteorologie). Von Prof. O. Baschin. (Bd. 626.) III. Geomorphologie. Von Prof. F. Machatschek. M. 33 Abb. (Bd. 627.) IV. Physiogeographie d. Süßwassers. V. Prof. F. Machatschek. M. 24 Abb. (Bd. 628.) V. **Die** Meere. Von Prof. Dr. A. Merz. (Bd. 629.) VI. Die Verbreitung der Pflanzen. Von Dr. Brockmann-Jerosch. (Bd. 630.) VII. Die Verbreitg. d. Tiere. V. Dr. W. Knopfli. (Bd. 631.) VIII. Die Verbreitg. d. Menschen auf d. Erdoberfläche (Anthropogeographie). V. Prof. Dr. N. Krebs. (Bd. 632.)

**Europa, Vorgeschichte E.'s.** Von Prof. Dr. H. Schmidt. (Bd. 571/572.)

**Familienforschung.** Von Dr. E. Devrient. 2. Aufl. M. 6 Abb. i. T. (350.)

**Feldherren, Große.** Von Major F. C. Endres. (Bd. 687/688.)

**Feste, Deutsche, u. Volksbräuche.** V. Priv.-Doz. Dr. E. Fehrle. M. 30 Abb. (Bd. 518.)

**Finnland.** Von Lektor F. Öhquist. (700.)

**Französ. Geschichte.** I.: D. frz. Königstum. V. Prof. Dr. R. Schwemer. (Bd. 574.)

— siehe auch Napoleon, Revolution.

**Frauenbewegung, Die mod.** V. Dr. Marie Bernays. (Bd. 723.)

**Frauenleben, Deutsch.,** i. Wandel d. Jahrhunderte. Von Geh. Schulrat Dr. Ed. Otto. 3. Aufl. 12 Abb. i. T. (Bd. 45.)

**Friedrich d. Gr.** 6 Vortr. V. Prof. Dr. Th. Bitterauf. 2. A. M. 2 Bildn. (246.)

**Gartenkunst, Gesch. d. G.** V. Baurat Dr.-Ing. Chr. Ranck. M. 41 Abb. (274.)

**Geographie der Vorwelt** (Paläogeographie). Von Priv.-Doz. Dr. E. Dacqué. Mit 78 Abb. (Bd. 610.)

— Einführg. i. d. Studium der G. Von Prof. Dr. G. Braun. (Bd. 693.)

**Geologie** siehe Abt. V.

**German. Heldensage** s. Heldensage.

**Germanische Kultur in der Urzeit.** Von Bibliotheksdir. Prof. Dr. G. Steinhausen. 3. Aufl. Mit 13 Abb. (Bd. 75.)

**Geschichte, Deutsche, im 19. Jahrh. b. z. Reichseinheit.** V. Prof. Dr. R. Schwemer. 3 Bde. I.: Von 1800—1848. Restauration und Revolution. 3. Aufl. (Bd. 37.) II.: Von 1848—1862. Die Reaktion und die neue Ära. 2. Aufl. (Bd. 101.) III.: Von 1862—1871. V. Bund z. Reich. 2. Aufl. (Bd. 102.)

**Gesellschaft u. Geselligkeit in Vergangenh. u. Gegenwart.** Von Oberin S. Trautwein. (Bd. 706.)

**Griechentum.** Das G. in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von Prof. Dr. R. v. Scala. Mit 46 Abb. (Bd. 471.)

**Griechische Städte. Kulturbilder aus gr. St.** Von Professor Dr. E. Ziebarth. 2. A. M. 23 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 131.)

**Handel. Geschichte d. Welthandels.** Von Realgymnasial-Dir. Prof. Dr. M. G. Schmidt. 3. Aufl. (Bd. 118.)

— **Geschichte des deutschen Handels seit d. Ausgang des Mittelalters.** Von Dir. Prof. Dr. W. Langenbeck. 2. Aufl. Mit 16 Tabellen. (Bd. 237.)

**Handwerk, Das deutsche,** in seiner kulturgeschichtl. Entwickl. Von Geh. Schulrat Dr. E. Otto. 4. Aufl. Mit 33 Abb. auf 12 Tafeln. (Bd. 14.)

— siehe auch Dekorative Kunst Abt. III.

**Haus. Kunstpflege in Haus und Heimat.** 3. Aufl. Mit Abb. (Bd. 77.)

— siehe auch Bauernhaus, Dorf.

**Heldensage, Die germanische.** Von Dr. J. W. Bruinier. (Bd. 486.)

**Hellenist.-röm. Religionsgeschichte** s. Abt. I.

**Jesuiten, Die.** Eine hist. Skizze. Von Prof. Dr. H. Boehmer. 4. Aufl. (Bd. 49.)

**Indien.** Von Prof. Dr. Sten Konow. (Bd. 614.)

**Indogermanenfrage.** Von Dir. Dr. R. Agahd. (Bd. 594.)

**Island, d. Land u. d. Volk.** V. Prof. Dr. P. Herrmann. M. 9 Abb. (Bd 461.)

**Kaisertum und Papsttum.** Von Prof. Dr. A. Hofmeister. (Bd. 576.)

**Kartenkunde.** Vermessungs- u. K. 6 Bde. Mit Abb. I. Geogr. Ortsbestimmung. Von Prof. Schnauder. (Bd. 606.) II. Erdmessung. Von Prof. Dr. O. Eggert. (Bd. 607.) III. Landmess. V. Geh. Finanzrat Suckow. (Bd. 608.) IV. Ausgleichungsrechnung. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Hegemann. (Bd. 609.) V. Photogrammetrie und Stereophotogrammetrie. Von Diplom-Ing. H. Lüscher. (Bd. 610.) VI. Kartenkunde. Von Finanzrat Dr.-Ing. A. Egerer. 1. Einführ. i. d. Kartenverständnis. 2. Kartenherstellung (Landesaufn.). (Bd. 611/612.)
**Kirche** s. Staat u. K.; Kirche Abt. I.
**Kolonien, Die deutschen.** (Land u. Leute.) Von Dr. A. Heilborn. 3. Aufl. Mit 28. Abb. u. 8 Karten. (Bd. 98.)
**Königstum, Französisches.** Von Prof. Dr. R. Schwemer (Bd. 574.)
**Krieg.** Kulturgeschichte d. Kr. Von Prof. Dr. K. Weule, Geh. Hofrat Prof. Dr. E. Bethe, Prof. Dr. B. Schmeidler, Prof. Dr. A. Doren, Prof. Dr. P. Herre. (Bd. 561.)
— **Der Dreißigjährige Krieg.** Von Dr. Fritz Endres. (Bd. 577.)
— s. auch Feldherren.
**Kriegsschiffe, Unsere.** Ihre Entstehung u. Verwendung. V. Geh. Mar.-Baur. a. D. E. Krieger. 2. Aufl. v. Geh. Mar.-Baur. Fr. Schürer. M. 62 Abb. (389.)
**Luther, Martin L. u. d. dtsche. Reformation.** Von Prof. Dr. W. Köhler. 2., verb. Aufl. M. 1 Bildn. Luthers. (Bd. 515.)
— s. auch Von L. zu Bismarck.
**Marx, Karl.** Versuch einer Einführg. V. Prof. Dr. R. Wilbrandt. 2. A. (621.)
**Mensch u. Erde.** Skizzen v. den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von Geh. Rat Prof. Dr. A. Kirchhoff. 4. Aufl.
— s. a. Eiszeit; Mensch Abt. V. [(Bd. 31.)
**Mittelalter.** Mittelalterl. Kulturideale. V. Prof. Dr. V. Vedel. I.: Heldenleben. II: Ritterromantik. (Bd. 292, 293.)
— s. auch Städte u. Bürger i. M.
**Moltke.** Von Major F. C. Endres. Mit 1 Bildn. (Bd. 415.)
**Münze.** Grundriß d. Münzkunde. 2. Aufl. I. Die Münze nach Wesen, Gebrauch u. Bedeutg. V. Hofrat Dr. A. Luschin v. Ebengreuth. M. 56 Abb. II. Die Münze v. Altertum b. z. Gegenw. Von Prof. Dr. H. Buchenau. (Bd. 91, 657.)
— s. a. Finanzwiss., Geldwesen Abt. VI.
**Mykenische Kultur, Die.** Von Prof. Dr. F. C. Lehmann-Haupt. (Bd. 581.)
**Mythologie** s. Abt. I.
**Napoleon I.** Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. 3. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 195.)
**Nationalbewußtsein** siehe Volk.
**Natur u. Mensch.** V. Dir. Prof. Dr. M. G. Schmidt. M. 19 Abb. (Bd. 458.)

**Naturvölker, Die geistige Kultur der N.** V. Prof. Dr. K. Th. Preuß. M. 9 Abb.
— s. a. Völkerkunde, allg. [(Bd. 452.)
**Neugriechenland.** Von Prof. Dr. A. Heisenberg. (Bd. 613.)
**Neuseeland** s. Australien.
**Orient** s. Indien, Palästina, Türkei.
**Osten.** Der Zug nach dem O. Die Großtat d. deutsch. Volkes i. Mittelalt. V. Geh. Hofrat Prof. Dr. Hampe. (Bd. 731.)
**Ostmark** s. Abt. VI.
**Österreich.** Ö.'s innere Geschichte von 1848 bis 1895. V. R. Charmatz. 3., veränd. Aufl. I. Die Vorherrschaft der Deutschen. II. Der Kampf der Nationen. (651/652.)
— **Geschichte der auswärtigen Politik Ö.'s im 19. Jahrhundert.** V. R. Charmatz. 2., veränd. Aufl. I. Bis zum Sturze Metternichs. II. 1848—1895. (653/654.)
— **Österreichs innere u. äußere Politik von 1895—1914.** V. R. Charmatz. (655.)
**Ostseegebiet, Das.** V. Prof. Dr. G. Braun. M. 21 Abb. u. 1 mehrf. Karte. (Bd. 367.)
— s. auch Baltische Provinzen, Finnland.
**Palästina und seine Geschichte.** Von Prof. Dr. H. Frh. von Soden. 4. Aufl. Mit 1 Plan von Jerusalem u. 3 Ans. d. Heiligen Landes. (Bd. 6[illegible])
— **P. u. s. Kultur in 5 Jahrtausenden.** Nach d. neuest. Ausgrab. u. Forschungen dargest. von Prof. Dr. P. Thomsen. 2., neubearb. Aufl. Mit 37 Abb. (260.)
**Papsttum** s. Kaisertum.
**Papyri** s. Antikes Leben.
**Polarforschung.** Geschichte der Entdeckungsreisen zum Nord- u. Südpol v. d. ältest. Zeiten bis zur Gegenw. V. Prof. Dr. K. Hassert. 3. Aufl. M. 6 Kart. (Bd. 38.)
**Polen.** Mit einem geschichtl. Überblick üb. d. polnisch-ruthen. Frage. V. Prof. Dr. R. F. Kaindl. 2., verb. Aufl. M. 6 Kart. (547.)
**Politik.** V. Dr. A. Grabowsky. (Bd. 537.)
— **Umrisse der Weltpol.** V. Prof. Dr. J. Hashagen. 3 Bde. I: 1871—1907. 2. Afl. II: 1908—1914. 2. Afl. III: D. pol. Ereign. währ. d. Krieges. (Bd. 553/55.)
— **Politische Geographie.** Von Prof. Dr. W. Vogel. (Bd. 634.)
— **Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrhundert.** Von Prof. Dr. K. Th. v. Heigel. 4. Aufl. von Dr. Fr. Endres. (Bd. 129.)
**Pompeji, eine hellenistische Stadt in Italien.** Von Prof. Dr. Fr. v. Duhn. 3. Aufl. Mit 62 Abb. i. T. u. auf 1 Taf., sowie 1 Plan. (Bd. 114.)
**Preußische Geschichte** s. Brandenb.-pr. G.
**Reaktion und neue Ära** s. Gesch., deutsche.
**Reformation** s. Calvin, Luther.
**Reich.** Das Deutsche R. von 1871 b. z. Weltkrieg. V. Archivar Dr. F. Israel. (575.)
**Religion** s. Abt. I.
**Restauration und Revolution** siehe Geschichte, deutsche.

**Revolution.** Geschichte der Französ. R. V Prof Dr. Th. Bitterauf. 2. Aufl. Mit 8 Bildn. (Bd. 346.)
— 1848. 6 Vorträge. Von Prof Dr. O. Weber. 3. Aufl. (Bd. 53.)
**Rom.** Das alte Rom. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. O. Richter. Mit Bilderanhang u. 4 Plänen (Bd 386.)
— Die römische Republik. Von Privatdoz. Dr. A. Rosenberg. (Bd. 719.)
— Soziale Kämpfe i. alt. Rom. V. Privatdozent Dr. L. Bloch. 3. Aufl. (Bd. 22.)
— Roms Kampf um die Weltherrschaft. Von Geh. Hofrat Prof. Dr. J. Kromayer. (Bd. 368.)
**Geschichte der Römer.** Von Prof. Dr. R. v Scala. (Bd. 578.)
— siehe auch Hellenist.-röm Religionsgeschichte Abt. I; Pompeji Abt. III.
**Rußland.** Geschichte, Staat, Kultur Von Dr. A. Luther. (Bd. 568.)
**Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit.** Von Prof. Dr. O. Weise. 4. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 4.)
— s. a. Buch. Wie ein B. entsteht. Abt. VI.
**Schweiz, Die.** Land, Volk, Staat u Wirtschaft. Von Reg.- u. Ständerat Prof. Dr. O. Wettstein. Mit 1 Karte. (Bd. 482.)
**Seekrieg** s. Kriegsschiff.
**Sitten und Gebräuche in alter und neuer Zeit.** Von Prof. Dr. E. Samter (682.)
**Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung** Von G. Maier. 6. Aufl. (Bd. 2.)
— s. a. Marx. Rom; Sozialism. Abt. VI.
**Staat.** St. u. Kirche in ihr. gegens. Verhältnis seit d. Reformation. V. Pfarrer Dr. phil A. Pfannkuche. (Bd. 485.)
— Dtsche. Städte u. Bürger i. Mittelalter. V. Prof. Dr B Heil. 3. Aufl Mit zahlr. Abb. u. 1 Doppeltafel. (Bd 43.)
— Verfassung u. Verwaltung d. deutschen Städte. V Dr. M. Schmid. (Bd. 466.)
— s a. Griech. Städte. Pompeji, Rom.
**Sternglaube und Sterndeutung.** Die Geschichte u. d. Wesen d. Astrologie. Unt. Mitwirk. v. Geh Rat Prof. Dr. C. Bezold dargest. v. Geh. Hofr. Prof. Dr. Fr. Boll. 2. Afl. M. 1 Sternk. u. 20 Abb. (638.)
**Student, Der Leipziger,** von 1409 bis 1909. Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 26 Abb. (Bd 273.)
**Studententum.** Geschichte d. deutschen St. Von Dr. W. Bruchmüller. (Bd. 477.)

**Türkei, Die.** V. Reg.-Rat P. R. Krause. Mit 2 Karten i. Text und auf 1 Tafel. 2. Aufl. (Bd. 469.)
**Urzeit** s. german. Kultur in der U.
**Verfassung.** Grundzüge der V. des Deutschen Reiches. Von Geheimrat Prof Dr. E. Löning. 5. Aufl. (Bd. 34.)
**Verfassungsrecht, Deutsches, in geschichtlicher Entwicklung.** Von Prof. Dr. Ed. Hubrich. 2. Aufl. (Bd. 80.)
**Vermessungs- u. Kartenkunde** s. Kartenk.
**Volk.** Vom deutschen V. zum dt. Staat. Eine Gesch. d. dt. Nationalbewußtseins. V. Prof. Dr. P. Joachimsen. (Bd. 511.)
**Völkerkunde, Allgemeine.** I: Feuer, Nahrungserwerb, Wohnung, Schmuck und Kleidung. Von Dr. A. Heilborn. M. 54 Abb. (Bd. 487.) II: Waffen u. Werkzeuge, Industrie, Handel u. Geld, Verkehrsmittel. Von Dr. A. Heilborn. M. 51 Abb. (Bd. 488.) III: Die geistige Kultur der Naturvölker. Von Prof Dr. K. Th. Preuß. M. 9 Abb. (Bd. 452.)
**Volksbräuche, deutsche,** siehe Feste
**Volkskunde, Deutsche, im Grundriß.** Von Prof. Dr. C. Reuschel. I. Allgemeines, Sprache, Volksdichtung. (Bd. 644.)
— s. auch Bauernhaus, Feste, Sitten, Sternglaub., Volkstracht., Volksstämme.
**Volksstämme, Die deutschen, und Landschaften.** Von Prof Dr. O. Weise. 5., völlig umgearb. Aufl. Mit 30 Abb. i. Text u auf 20 Taf. u. einer Dialektkarte Deutschlands. (Bd 16.)
**Volkstrachten, Deutsche.** Von Pfarrer K. Spieß. Mit 11 Abb. (Bd. 342.)
**Vom Bund zum Reich** siehe Geschichte.
**Von Jena bis zum Wiener Kongreß.** Von Prof. Dr G. Roloff (Bd 465.)
**Von Luther zu Bismarck.** 12 Charakterbild. a. deutscher Gesch. V. Prof. Dr. O. Weber. 2 Bde. 2. Aufl. (Bd. 123, 124.)
**Vorgeschichte Europas.** Von Prof. Dr H. Schmidt. (Bd. 571/572.)
**Weltgeschichte** s. Christentum.
**Welthandel** s. Handel.
**Weltpolitik** s. Politik.
**Wirtschaftsgeschichte. Antike.** Von Privatdozent Dr O. Neurath. 2., umgearbeitete Auflage. (Bd. 258.)
— s a. Antikes Leben n. d. ägypt. Papyri.
**Wirtschaftsleben, Deutsches.** Auf geogr. Grundl. gesch V Prof. Dr. Chr. Gruber. 4. Aufl. V. Dr. H. Reinlein. (42.)
— s. auch Abt. VI.

## V. Mathematik, Naturwissenschaften und Medizin.

**Aberglaube, Der, in der Medizin u. s. Gefahr f. Gesundh. u. Leben** V Prof. Dr. D v. Hansemann. 2. Aufl (Bd. 83.)
**Abstammungs- und Vererbungslehre, Experimentelle.** Von Prof. Dr. E. Lehmann Mit 26 Abb. (Bd. 379.)
**Abstammungslehre u. Darwinismus.** V. Pr. Dr. R. Hesse. 5. A. M. 40 Abb. (Bd. 39.)

**Abwehrkräfte des Körpers, Die. Eine Einführung in die Immunitätslehre.** Von Prof Dr. med. H. Kämmerer. Mit 52 Abbildungen. (Bd 479.)
**Akustik, Einführung in die A.** Von Prof. Dr. F. A. Schulze. (Bd. 622.)
**Algebra** siehe Arithmetik. (Bd. 601.)
**Ameisen, Die.** Von Dr. med. H. Brun.

**Anatomie d. Menschen, Die.** V. Prof. Dr. K. v. Bardeleben. 6 Bde. Jeder Bd. mit zahlr. Abb. (Bd. 418/423.) I. Zelle und Gewebe. Entwicklungsgeschichte. Der ganze Körper. 3. Aufl. II. Das Skelett. 2. Aufl. III. Das Muskel- u. Gefäßsystem. 2. Aufl. IV. Die Eingeweide (Darm-, Atmungs-, Harn- und Geschlechtsorgane, Haut). 3. Aufl. V. Nervensystem und Sinnesorgane. VI. Mechanik (Statik u. Kinetik) d. menschl. Körpers (der Körper in Ruhe u. Bewegung). 2. Aufl.
— siehe auch Wirbeltiere.
**Aquarium, Das.** Von E. W. Schmidt. Mit 15 Fig. (Bd. 335.)
**Arbeitsleistungen des Menschen, Die.** Einführ. in d. Arbeitsphysiologie. V. Prof. Dr. H. Boruttau. M. 14 Fig. (Bd. 539.)
— **Berufswahl, Begabung u. Arbeitsleistung** in i. gegens. Beziehungen. Von W. J. Ruttmann. Mit 7 Abb. (Bd. 522.)
**Arithmetik und Algebra zum Selbstunterricht.** Von Prof. P. Cranz. 2 Bände. I.: Die Rechnungsarten. Gleichungen 1. Grades mit einer u. mehreren Unbekannten. Gleichungen 2. Grades. 6. Aufl. M. 9 Fig. i. Text. II.: Gleichungen. Arithmet. u. geometr. Reih. Zinseszins- u. Rentenrechn. Kompl. Zahlen. Binom. Lehrsatz. 4. Afl. M. 21 Fig. (Bd. 120, 205.)
**Arzneimittel und Genußmittel.** Von Prof. Dr. O. Schmiedeberg. (Bd. 363.)
**Arzt, Der.** Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenw. Ein Leitfaden der sozialen Medizin. Von Dr. med. M. Fürst. 2. Aufl. (Bd. 265.)
**Astronomie.** Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit. 2. Aufl. Von Prof. Dr. S. Oppenheim. I. Probleme der mod. Astronomie. Mit 11 Fig. (Bd. 355.) II. Mod. Astronomie. (Bd. 445.)
— **Die A. in ihrer Bedeutung für das praktische Leben.** Von Prof. Dr. A. Marcuse. Mit 26 Abb. (Bd. 378.)
— siehe auch Mond, Planeten, Sonne, Weltall, Weltbild; Sternglaube. Abt. I.
**Atome** s. Materie.
**Auge, Das, und die Brille.** Von Prof. Dr. M. v. Rohr. 3. Aufl. Mit 84 Abb. u. 1 Lichtdrucktafel. (Bd. 372.)
**Ausgleichungsrechn.** s. Kartenkde. Abt. IV.
**Bakterien, Die, im Haushalt und der Natur des Menschen.** Von Prof. Dr. E. Gutzeit. 2. Aufl. Mit 13 Abb. (242.)
— **Die krankheiterregenden Bakterien.** Grundtatsachen d. Entsteh., Heilung u. Verhütung d. bakteriellen Infektionskrankheiten d. Menschen. V. Prof. Dr. M. Loehlein. 2. Afl. M. 33 Abb. (Bd. 307.)
— s. a. Abwehrkräfte, Desinfektion, Pilze, Schädlinge.
**Bau u. Tätigkeit d. menschl. Körpers.** Einf. in die Physiologie d. Menschen. V. Prof. Dr. H. Sachs. 4. A. M. 34 Abb. (Bd. 32.)
**Begabung** s. Arbeitsleistung.
**Befruchtung und Vererbung.** Von Dr. E. Teichmann. 2. Aufl. M. 9 Abb. u. 4 Doppeltafeln. (Bd. 70.)
**Bewegungslehre** s. Mechan., Aufg. a. d. M. I.
**Bienen, Die.** Von Prof. Dr. E. Zander. (Bd. 705.)
**Biochemie.** Einführung in die B. in elementarer Darstellung. Von Prof. Dr. W. Löb. Mit 12 Fig. 2. Aufl. v. Prof. Dr. H. Friedenthal. (Bd. 352.)
**Biologie, Allgemeine.** Einführ. i. d. Hauptprobleme d. organ. Natur. V. Prof. Dr. H. Miehe. 2. Aufl. 52 Fig. (Bd. 130.)
—, **Experimentelle.** Regeneration, Transplantat. und verwandte Gebiete. Von Dr. C. Thesing. Mit 1 Tafel und 69 Textabbildungen. (Bd. 337.)
— siehe a. Abstammungslehre, Bakterien, Befruchtung, Fortpflanzung, Lebewesen, Organismen, Schädlinge, Tiere, Urtiere.
**Blumen.** Unsere Bl. u. Pflanzen im Garten. Von Prof. Dr. U. Dammer. Mit 69 Abb. (Bd. 360.)
— **Uns. Bl. u. Pflanzen i. Zimmer.** V. Prof. Dr. U. Dammer. M. 65 Abb. (Bd. 359.)
**Blut.** Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen. Von Prof. Dr. H. Rosin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)
**Botanik, B. d. praktischen Lebens.** V. Prof. Dr. P. Gisevius. M. 24 Abb. (Bd. 173.)
— siehe Blumen, Lebewesen, Pflanzen, Pilze, Schädlinge, Wald; Kolonialbotanik, Tabak Abt. VI.
**Brille** s. Auge u. d. Brille.
**Chemie.** Einführung in die allg. Ch. V. Studienrat Dr. B. Bavink. 2. Aufl. Mit zahlr. Fig. (Bd. 582.)
— **Einführg. i. d. organ. Chemie:** Natürl. u. künstl. Pflanz.- u. Tierstoff. V. Studienrat Dr. B. Bavink. 2. A. 9 Abb. (187.)
— **Einführung i. d. anorganische Chemie.** V. Studienrat Dr. B. Bavink. (598.)
— **Einführung i. d. analyt. Chemie.** V. Dr. F. Rüsberg. 2 Bde. (Bd. 524, 525.)
— **Die künstliche Herstellung von Naturstoffen.** V. Prof. Dr. E. Küst. (Bd. 674.)
— **Ch. in Küche und Haus.** Von Dr. J. Klein. 4. Aufl. (Bd. 76.)
— siehe a. Biochemie, Elektrochemie, Luft, Photoch.; Agrikulturch., Sprengstoffe, Technik. Chem. Abt. VI.
**Chemikalienkunde.** Von Chemiker Emil Drechsler. (Bd. 728.)
**Chirurgie, Die, unserer Zeit.** Von Prof. Dr. J. Feßler. Mit 52 Abb. (Bd. 339.)
**Darwinismus.** Abstammungslehre und D. Von Prof. Dr. R. Hesse. 5. Aufl. Mit 40 Textabb. (Bd. 39.)
**Desinfektion, Sterilisation und Konservierung.** Von Reg.- u. Med.-Rat Dr. O. Solbrig. M. 20 Abb. i. T. (Bd. 401.)

**Licht.** Das, u. d. Farben. Einführung in die Optik. Von Prof. Dr. L. Graetz. 4. Aufl. Mit 100 Abb. (Bd. 17.)
**Luft, Wasser, Licht und Wärme.** Neun Vorträge aus d. Gebiete d. Experimentalchemie. V. Geh. Reg.-Rat Dr. R. Blochmann. 4. Aufl. M. 115 Abb. (Bd. 5.)
**Luftstickstoff.** D., u. s. Verwertg. V. Prof. Dr. K. Kaiser. 2. A. M. 13 Abb. (313.)
**Maße und Messen.** Von Dr. W. Block. Mit 34 Abb. (Bd. 385.)
**Materie.** Das Wesen d. M. V. Prof. Dr. G. Mie. I. Moleküle und Atome. 4. A. Mit 25 Abb. II. Weltäther und Materie. 4. Aufl. Mit Fig. (Bd. 58/59.)
**Mathematik.** Einführung in die Mathematik. Von Oberlehrer W. Mendelssohn. Mit 42 Fig. (Bd. 503.)
— Math. Formelsammlung. Ein Wiederholungsbuch der Elementarmathematik. Von Prof. Dr. S. Jakobi. (Bd. 567.)
— Naturwissensch. u. M. i. klass. Altertum. Von Prof. Dr. Joh. L. Heiberg. Mit 2 Fig. (Bd. 370.)
— Praktische M. Von Prof. Dr. R. Neuendorff. I. Graphische Darstellungen. Verkürztes Rechnen. Das Rechnen mit Tabellen. Mechanische Rechenhilfsmittel. Kaufmännisches Rechnen i. tägl. Leben. Wahrscheinlichkeitsrechnung. 2. verb. A. M. 29 Fig. i. T. u. 1 Taf. II. Geom. Zeichnen. Projektionsl. Flächenmessung. Körpermessung. M. 133 Fig. (341. 526.)
— Mathemat. Spiele. V. Dr. W. Ahrens. 3. Aufl. M. Titelb. u. 77 Fig. (Bd. 170.)
— s. a. Arithmetik. Differentialrechnung. Geometrie. Infinitesimalrechnung. Integralrechnung. Perspektive. Planimetrie. Projektionslehre. Trigonometrie. Vektorrechnung. Wahrscheinlichkeitsrechnung.
**Mechanik.** Von Prof. Dr. Hamel. 3 Bde. I. Grundbegriffe der M. II. M. d. festen Körper. III. M. d. flüss. u. luftförm. Körper. (Bd. 684/686.)
— Aufgaben aus d. techn. Mechanik für den Schul- u. Selbstunterricht. V. Prof. R. Schmitt. I. Bewegungsl., Statik. 156 Aufg. u. Lös. II. Dynamik. 140 Aufg. u. Lös. m. zahlr. Fig. i. T. (558/559.)
— siehe auch Statik.
**Meer.** Das M., s. Erforsch. u. s. Leben. Von Prf. Dr. O. Janson. 3. A. M. 40 F. (Bd. 30.)
**Mensch u. Erde.** Skizzen v. d. Wechselbezieh. zwischen beiden. Von Geh. Rat Prof. Dr. A. Kirchhoff. 4. Aufl. (Bd. 31.)
— Die Rassen der Menschen. Von Prof. Dr. E. Fischer. (Bd. 624.)
— s. Eiszeit. Entwicklungsgesch. Urzeit.
— Natur u. Mensch siehe Natur.
**Menschl. Körper.** Bau u. Tätigkeit d. menschl. K. Einführ. i. d. Physiol. d. M. V. Prof. Dr. H. Sachs. 4. Aufl. M. 34 Abb. (32.)
— s. auch Anatomie. Arbeitsleistungen. Auge. Blut. Fortpflanzg., Gebiß. Herz. Nervensystem. Physiol., Sinne. Verbild.
**Mikroskop.** Das. V. Prof. Dr. W. Scheffer. 2. Aufl. Mit 99 Abb. (Bd. 35.)
**Moleküle** s. Materie.
**Mond.** Der. Von Prof. Dr. J. Franz. 2. Aufl. Mit 34 Abb. (Bd. 90.)
**Nahrungsmittel** s. Ernährung u. N.
**Natur u. Mensch.** V. Direkt. Prof. Dr. M. G. Schmidt. Mit 19 Abb. (Bd. 458.)
**Naturlehre.** Die Grundbegriffe der modernen N. Einführung in die Physik. Von Hofrat Prof. Dr. F. Auerbach. 4. Aufl. Mit 71 Fig. (Bd. 40.)
**Naturphilosophie.** Die mod. V. Privatdoz. Dr. J. M. Verweyen. 2. A. (Bd. 491.)
**Naturwissenschaft.** Religion und N. in Kampf u. Frieden. Ein geschichtl. Rückblick. V. Pfarrer Dr. A. Pfannkuche. 2. Aufl. (Bd. 141.)
— N. und Technik. Am sausenden Webstuhl d. Zeit. Übersicht üb. d. Wirkungen d. Naturw. u. Technik a. d. ges. Kulturleben. V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. W. Launhardt. 3. Afl. M. 3 Abb. (23.)
— N. u. Math. i. klass. Altert. V. Prof. Dr. J. L. Heiberg. 2 Fig. (Bd. 370.)
**Nerven.** Vom Nervensystem, sein Bau u. sein. Bedeutung für Leib u. Seele im gesund. u. krank. Zustande. V. Prof. Dr. R. Zander. 3. Aufl. M. 27 Abb. (Bd. 48.)
— siehe auch Anatomie.
**Optik.** Die opt. Instrumente. Lupe. Mikroskop, Fernrohr, photogr. Objektiv u. ihnen verwandte Instr. V. Prof. Dr. M. v. Rohr. 3. Aufl. M. 89 Abb. (88.)
— s. a. Auge, Brille, Kinemat., Licht u. Farbe. Mikrosk., Spektroskopie, Strahlen.
**Organismen.** D. Welt d. O. In Entwickl. und Zusammenhang dargestellt. Von Oberstudienrat Prof. Dr. K. Lampert. Mit 52 Abb. (Bd. 236.)
— siehe auch Lebewesen.
**Paläozoologie** siehe Tiere der Vorwelt.
**Perspektive.** Die. Grundzüge d. P. nebst Anwendg. V. Prof. Dr. K. Doehlemann. Mit 91 Fig. u. 11 Abb. (Bd. 510.)
**Pflanzen.** Die fleischfress. Pfl. V. Prof. Dr. A. Wagner. Mit 82 Abb. (Bd. 344.)
— Uns. Blumen u. Pfl. i. Garten. V. Prof. Dr. U. Dammer. M. 69 Abb. (Bd. 360.)
— Uns. Blumen u. Pfl. i. Zimmer. V. Prof. Dr. U. Dammer. M. 65 Abb. (Bd. 359.)
— s. auch Botanik, Garten, Lebewesen, Pilze, Schädlinge.
**Pflanzenphysiologie.** V. Prof. Dr. H. Molisch. Mit 63 Fig. (Bd. 569.)
**Photochemie.** Von Prof. Dr. G. Kümmell. 2. Aufl. Mit 23 Abb. i. Text u. a. 1 Taf. (Bd. 227.)
**Photographie** s. Abt. VI.
**Physik.** Werdegang d. mod. Ph. V. Oberl. Dr. H. Keller. 2. Afl. M. Fig. (343.)
— Experimentalphysik. Gleichgewicht u. Bewegung. Von Geh. Reg.-Rat. Prof. Dr. R. Börnstein. M. 90 Abb. (371.)

**Physik.** Ph. i. Küche u. Haus. V. Studienr. H. Speitkamp. M. 51 Abb. (Bd. 478.)
— **Große Physiker.** Von Prof. Dr. J. A. Schulze. 2. Aufl. Mit 6 Bildn. (324.)
— s. auch Energie, Naturlehre, Optik, Relativitätstheorie, Wärme; ebenso Elektrotechnik Abt. VI.
**Physiologie.** Ph. d. Menschen. V. Privatdoz. Dr. A. Lipschütz. 4 Bde. I: Allgem. Physiologie. II: Physiologie d. Stoffwechsels. III: Ph. d. Atmung, d. Kreislaufs u. d. Ausscheidung. IV: Ph. der Bewegungen und der Empfindungen. (Bd. 527—530.)
— siehe auch Arbeitsleistungen, Menschl. Körper, Pflanzenphysiologie.
**Pilze, Die.** Von Dr. A. Eichinger. Mit — s. a. Bakterien. [64 Abb. (Bd. 334.)
**Planeten, Die.** Von Prof. Dr. B. Peter. 2. Aufl. Von Dr. H. Naumann. Mit Figuren. (Bd. 240.)
**Planimetrie z. Selbstunterricht.** V. Prof. P. Crantz. 2. Aufl. M. 94 Fig. (340.)
**Praktische Mathematik** s. Mathematik.
**Projektionslehre.** In kurzer leichtfaßlicher Darstellung f. Selbstunterr. u. Schulgebr. Von Zeichenl. A. Schudeisky. Mit 208 Fig. im Text. (Bd. 564.)
**Radium, Das, u. d. Radioaktivität.** V. Dr. M. Centnerszwer. 2. Afl. M. 33 Abb.
**Rassen** s. Mensch. [(Bd. 405.)
**Rechenmaschinen, Die, und das Maschinenrechnen.** Von Reg.-Rat Dipl.-Ing. K. Lenz. Mit 43 Abb. (Bd. 490.)
**Relativitätstheorie.** Einführung in die. M. 16 Fig. V. Dr. W. Bloch. (Bd. 618.)
**Röntgenstrahlen, D. R. u. ihre Anwendg.** V. Dr. med. G. Bucky. M. 85 Abb. i. T. u. auf 4 Tafeln. (Bd. 556.)
**Säuglingspflege.** Von Dr. E. Robrak. Mit 20 Abb. (Bd. 154.)
**Schachspiel, Das,** und seine strategischen Prinzipien. V. Dr. M. Lange. 3. Aufl. Mit 2 Bildn., 1 Schachbrettafel u. 43 Diagrammen. (Bd. 281.)
— **Die Hauptvertreter der Schachspielkunst u. d. Eigenart ihrer Spielführung.** Von Dr. M. Lange. (Bd. 531.)
**Schädlinge, Die, im Tier- u. Pflanzenreich u. i. Bekämpf.** V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. K. Eckstein. 3. A. M. 36 Fig. (18.)
**Schulhygiene.** Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 43 Fig. (Bd. 96.)
**Sexualbiologie** s. Fortpflanzung, Pflanzen.
**Sexualethik.** V. Prof. Dr. H. E. Timerding. (Bd. 592.)
**Sinne d. Mensch., D. Sinnesorgane u. Sinnesempfindungen.** V. Hofrat Prof. Dr. J. Kreibig. 3. Aufl. M. 30 Abb. (27.)
**Sonne, Die.** Von Dr. A. Krause. Mit 64 Abb. (Bd. 357.)
**Spektroskopie.** Von Dr. L. Grebe. 2. Aufl. Mit Abbild. (Bd. 284.)
**Spiel** siehe Mathem. Spiele, Schachspiel.

**Sprache.** Die menschliche Sprache. (Ihre Entwicklung beim Kinde, ihre Gebrechen und deren Heilung.) Von Lehrer K. Nickel. (Bd. 586.)
— siehe auch Rhetorik, Sprache Abt III.
**Statik.** Mit Einschluß der Festigkeitslehre. V. Baugewerkschuldirektor Reg.-Baum. A. Schau. Mit 149 Fig. i. T. (Bd. 497.)
— siehe auch Mechanik.
**Sterilisation** siehe Desinfektion.
**Stickstoff** s. Luftstickstoff.
**Stimme. Die menschliche St. und ihre Hygiene.** Von Geh. Med.-Rat Prof. Dr. P. H. Gerber. 3., verb. Aufl. Mit 21 Abb. (Bd. 136.)
**Strahlen, Sichtbare u. unsichtb.** V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. Börnstein u. Prof. Dr. W. Marckwald. 3. Afl. v Prof. Dr. E. Regener. M. zahlr. Abb. (Bd. 64.)
**Suggestion. Hypnotismus und Suggestion.** V. Dr. E. Trömner. 3. Aufl. (Bd. 199.)
**Süßwasser-Plankton, Das.** V. Prof. Dr. O. Zacharias. 2. A. 57 Abb. (Bd. 156.)
**Tabak, Der.** Von Jak. Wolf. 2. Aufl. Mit 17 Abb. i. T. (Bd. 416.)
**Thermodynamik** s. Abt. VI.
**Tiere. T. der Vorwelt.** Von Prof. Dr. O. Abel. Mit 31 Abb. (Bd. 399.)
— **Die Fortpflanzung der T.** V. Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 77 Abb. (Bd. 253.)
— **Tierkunde. Eine Einführung in die Zoologie.** Von Privatdozent Dr. K. Hennings. Mit 34 Abb. (Bd. 142.)
— **Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere.** Von Prof. Dr. O. Maas. Mit 11 Karten und Abb. (Bd. 139.)
— **Zwiegestalt der Geschlechter in der Tierwelt (Dimorphismus).** Von Dr. Fr. Knauer. Mit 37 Fig. (Bd. 148.)
— s. auch Aquarium, Bakterien, Bienen, Haustiere, Korallen, Lebewesen, Schädlinge, Urtiere, Vogelleben, Vogelzug, Wirbeltiere.
**Tierzucht** siehe Abt. VI: Kleintierzucht, Tierzüchtung.
**Trigonometrie, Ebene, z. Selbstunterr.** V. Studienr. P. Crantz. 2. A. M. 50 Fig. (Bd. 431.)
— **Sphärische Tr.** V. Studienr. P. Crantz. (Bd. 605.)
**Tuberkulose, Die.** Wesen, Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung. Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 3. Aufl. M. 1 Taf. u. 8 Fig. (Bd. 47.)
**Turnen.** Von Oberl. F. Eckardt. Mit 1 Bildnis Jahns. (Bd. 583.)
— s. auch Leibesübungen, Anatomie d. Menschen Bd. VI.
**Urtiere, Die.** Einführung i. d. Wissenschaft vom Leben. Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. 2. A. M. 44 Abb. (Bd. 160.)

**Urzeit.** Der Mensch d. U. Vier Vorlesung. aus der Entwicklungsgeschichte des Menschengeschlechts. Von Dr. A. Heilborn. 3. Aufl. Mit 47 Abb. (Bd. 62.)
**Vektorrechnung.** Einführung in die V. V. Prof. Dr. F. Jung. (Bd. 668.)
**Verbildungen,** Körperliche, im Kindesalter u. ihre Verhütung. Von Dr. M. David. Mit 26 Abb. (Bd. 321.)
**Vererbung.** Exp. Abstammgs.- u. V.-Lehre. Von Prof. Dr. E. Lehmann. Mit 20 Abbildungen. (Bd. 379.)
— Geistige Veranlagung u. V. V. Dr. phil. et med. G. Sommer. 2. Aufl. (512.)
**Vogelleben,** Deutsches. Zugleich als Exkursionsbuch für Vogelfreunde. V. Prof. Dr. A. Voigt. 2. Aufl. (Bd. 221.)
**Vogelzug und Vogelschutz.** Von Dr. W. R. Eckardt. Mit 6 Abb. (Bd. 218.)
**Wahrscheinlichkeitsrechnung,** Einführ. in die. Von Prof. Dr. R. Suppantschitsch. (Bd. 580.)
**Wald,** Der dtsche. V. Prof. Dr. H. Hausrath. 2 Afl. M. Bilderanh. u. 2 Karten. — siehe auch Holz Abt. VI. (Bd. 153.)
**Wärme.** Die Lehre v. d. W. V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. Börnstein. Mit Abb. 2. Aufl. v. Prof. Dr. A. Wigand. (172.)
— s. a. Luft, Wärmekraftmasch., Wärmelehre, techn. Thermodynamik Abt. VI.
**Wasser,** Das. Von Geh. Reg.-Rat Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)
**Weidwerk,** D. dtsche. V. Forstmstr. G. Frhr. v. Nordenflycht. M. Titelb. (Bd. 436.)
**Weltall.** Der Bau des W. Von Prof. Dr. J. Scheiner. 4. A. M. 26 Fig. (Bd. 24.)
**Weltäther** s. Materie.
**Weltbild.** Das astronomische W. im Wandel der Zeit. Von Prof. Dr. S. Oppenheim. 2. Aufl. Mit 19 Abb. (Bd. 110.)
— siehe auch Astronomie.
**Weltentstehung.** Entstehung d. W. u. d. Erde nach Sage u. Wissensch. V. Prof. Dr. M. B. Weinstein. 3. Aufl. (Bd. 223.)
**Weltuntergang.** Untergang der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft. V. Prof. Dr. M. B. Weinstein. (Bd. 470.)
**Wetter.** Unser W. Einführ. i. d. Klimatol. Deutschl. V. Dr. R. Hennig. 2. Aufl. Mit 14 Abb. (Bd. 349.)
— Einführung in die Wetterkunde. Von Prof. Dr. L. Weber. 3. Aufl. Mit 28 Abb. u. 3 Taf. (Bd. 55.)
**Wirbeltiere.** Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der W. Von Prof. Dr. W. Lubosch. Mit 107 Abb. (Bd. 282.)
**Zahnheilkunde** siehe Gebiß.
**Zellen- und Gewebelehre** siehe Anatomie des Menschen, Biologie.
**Zoologie** s. Abstammungsl., Aquarium, Bienen, Biologie, Schädlinge, Tiere, Urtiere, Vogelleben, Vogelzug, Weidwerk, Wirbeltiere.

## VI. Recht, Wirtschaft und Technik.

**Agrikulturchemie.** Von Dr. P. Krische. Mit 21 Abb. (Bd. 314.)
**Angestellte** siehe Kaufmännische A.
**Antike Wirtschaftsgeschichte.** V. Priv.-Doz. Dr. O. Neurath. 2., umgearb. A. (258.)
— siehe auch Antikes Leben Abt. IV.
**Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung.** V. Geh. Hofrat Prof. Dr. O. v. Zwiedineck-Südenhorst. 2. Aufl. (78.)
**Arbeitsleistungen des Menschen.** Die. Einführ. in d. Arbeitsphysiologie. V. Prof. Dr. H. Boruttau. M. 14 Fig. (Bd. 539.)
— Berufswahl, Begabung u. A. in ihren gegenseitigen Beziehungen. Von W. J. Ruttmann. Mit 7 Abb. (Bd. 522.)
**Arzneimittel und Genußmittel.** Von Prof. Dr. O. Schmiedeberg. (Bd. 363.)
**Arzt.** Der. Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenw. Von Dr. med. M. Fürst. 2. Aufl. (Bd. 265.)
**Automobil,** Das. Eine Einf. in d. Bau d. heut. Personen-Kraftwagens. V. Ob.-Ing. K. Blau. 3., überarb. Aufl. M. 98 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 166.)
**Baukunde** s. Eisenbetonbau.
**Baukunst** siehe Abt. III.
**Beleuchtungswesen,** Das moderne. Von Ing. Dr. H. Lux. M. 54 Abb. (Bd. 433.)
**Bergbau.** Von Bergassessor F. W. Wedding. (Bd. 467.)
**Bewegungslehre** s. Mechan., Aufg. a. d. M.
**Bierbrauerei.** Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 333.)
**Bilanz** s. Buchhaltung u. B.
**Blumen.** Uns. Bl. u. Pfl. i. Garten. Von Prof. Dr. U. Dammer. M. 69 Abb. (360.)
— Uns. Bl. u. Pfl. i. Zimmer. V. Prof. Dr. U. Dammer. M. 65 Abb. (Bd. 359.)
— siehe auch Garten.
**Brauerei** s. Bierbrauerei.
**Buch.** Wie ein B. entsteht. V. Prof. A. W. Unger. 4. Aufl. M. 7 Taf. u. 26 Abb. im Text. (Bd. 175.)
— s. a. Schrift- u. Buchwesen Abt. IV.
**Buchhaltung u. Bilanz,** Kaufm., und ihre Beziehungen z. buchhalter. Organisation, Kontrolle u. Statistik. V. Dr. P. Gerstner. 2. Afl. M. 4 schemat. Darst. (507.)
**Chemie in Küche und Haus.** Von Dr. J. Klein. 4. Aufl. (Bd. 76.)
— s. auch Agrikulturchemie, Elektrochemie, Farben, Sprengstoffe, Technik; ferner Chemie Abt. V.
**Dampfkessel** siehe Feuerungsanlagen.
**Dampfmaschine,** Die. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 2 Bde. I: Wirkungsweise des Dampfes im Kessel und in der Maschine. 4. Aufl. M. 37 Abb. (Bd. 393.) II: Ihre Gestaltung und Verwendung. 2. Aufl. Mit 105 Abb. (Bd. 394.)

**Desinfektion, Sterilisation und Konservierung.** Von Reg.- und Med.-Rat Dr. O. Solbrig. Mit 20 Abb. (Bd. 401.)
**Deutsch** f. Handel, Handwerk, Landwirtschaft, Verfassung, Weidwerk, Wirtschaftsleben, Zivilprozeßrecht; Reich Abt. IV.
**Drähte u. Kabel,** ihre Anfertig. u. Anwend. i. d. Elektrotech. V. Tel.-Insp. H. Brick. 2. Aufl. M. 43 Abb. (Bd. 285.)
**Dynamik** s. Mechanik, Aufg. a. d. M. 2. Bd., ebenso Thermodynamik.
**Eisenbahnwesen, Das.** Von Eisenbahnbau- u. Betriebsinsp. a. D. Dr.-Ing. E. Biedermann. 3. A. M. zahlr. Abb. (144.)
**Eisenbetonbau, Der.** V. Dipl.-Ing. E. Haimovici. 2. Aufl. Mit 82 Abb. i. T. sowie 6 Rechnungsbeisp. (Bd. 275.)
**Eisenhüttenwesen, Das.** Von Geh. Bergr. Prof. Dr. H. Wedding. 5. Aufl. v. Bergass. F. W. Wedding. M. 22 Abb. (20.)
**Elektrische Kraftübertragung, Die.** V. Ing. P. Köhn. Mit 137 Abb. (Bd. 424.)
**Elektrochemie.** Von Prof. Dr. K. Arndt. Mit 37 Abb. (Bd. 234.)
**Elektrotechnik.** Grundlagen d. E. V. Obering. A. Rotth. 2. Aufl. M. 74 Abb. (391.)
— s. auch Drähte u. Kabel, Telegraphie.
**Erbrecht.** Testamentserrichtung und E. Von Prof. Dr. F. Leonhard. (Bd. 429.)
**Ernährung u. Nahrungsmittel** s. Abt. V.
**Farben u. Farbstoffe.** I. Erzeug. u. Verwend. V. Dr. A. Zart. 31 Abb. (Bd. 483.)
— siehe auch Licht Abt. V.
**Fernsprechtechnik** s. Telegraphie.
**Feuerungsanlagen, Industr., u. Dampfkessel.** V. Ing. J. E. Mayer. 88 Abb. (Bd. 348.)
— siehe auch Geldwesen.
**Funkentelegraphie** siehe Telegraphie.
**Fürsorge** s. Kinderf., Kriegsbeschädigtenf.
**Garten. Der Kleingarten.** V. Redakt. Joh. Schneider. 2. Aufl. M. 80 Abb. (498.)
— **Der Hausgarten.** Von Gartenarchitekt W. Schubert. Mit Abb. (Bd. 502.)
— siehe auch Blumen.
**Gartenkunst.** Gesch. d. G. V. Baurat Dr.-Ing. Chr. Ranck. M. 41 Abb. (Bd. 274.)
**Gartenstadtbewegung, Die.** Von Landeswohnungsinspektor Dr. H. Kampffmeyer. 2. Aufl. M. 43 Abb. (Bd. 259.)
**Gefängniswesen** s. Verbrechen.
**Geldwesen, Zahlungsverkehr u. Vermögensverwalt.** Von G. Maier. 2. Aufl. (398.)
— s. a. Finanzwissensch.; Münze Abt. IV.
**Genußmittel** siehe Arzneimittel und Genußmittel, Tabak.
**Gewerblicher Rechtsschutz i. Deutschland.** V. Patentanw. B. Tolksdorf. (Bd. 138.)
— siehe auch Urheberrecht.
**Graphische Darstell., Die.** V. Hofrat Prof. Dr. F. Auerbach. 2. A. M. 139 Abb. (437.)
**Handel.** Geschichte d. Welth. Von Realgymnasialdirektor Prof. Dr. M. G. Schmidt. 3. Aufl. (Bd. 118.)
**Handel.** Geschichte d. deutsch. Handels seit d. Ausgang des Mittelalters. Von Dir. Prof. Dr. W. Langenbeck. 2. Aufl. Mit 16 Tabellen. (Bd. 237.)
**Handfeuerwaffen, Die.** Entwickl. u. Techn. V. Major R. Weiß. 69 Abb. (Bd. 364.)
**Handwerk, D. deutsche,** in s. kulturgeschichtl. Entwicklg. V. Geh. Schulr. Dr. E. Otto. 4. Aufl. M. 33 Abb. auf 12 Taf. (Bd. 14.)
**Haushalt** s. Chemie, Desinfekt., Physik; Nahrungsm. Abt. IV; Bakter. Abt. V.
**Häuserbau** siehe Baukunde, Beleuchtungswesen, Heizung u. Lüftung, Wohnungsw.
**Hebezeuge.** Hilfsmittel zum Heben fester, flüssiger und gasf. Körper. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 2. Aufl. M. 67 Abb. (Bd. 196.)
**Heizung und Lüftung.** Von Ingenieur J. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)
**Holz. Das H.,** seine Bearbeitung u. seine Verwendg. V. Insp. J. Großmann. Mit 39 Originalabb. i. T. (Bd. 473.)
**Hotelwesen, Das.** Von P. Damm-Etienne. Mit 30 Abb. (Bd. 331.)
**Hüttenwesen** siehe Eisenhüttenwesen.
**Immunitätslehre** s. Abwehrkräfte Abt. V.
**Ingenieurtechnik.** Schöpfungen d. I. der Neuzeit. Von Geh. Regierungsrat M. Geitel. Mit 32 Abb. (Bd. 28.)
**Instrumente** siehe Optische I.
**Kabel** s. Drähte und K.
**Kälte, Die,** ihr Wesen, i. Erzeug. u. Verwertg. V. Dr. H. Alt. M. 45 Abb. (311.)
**Kaufmann. Das Recht des K.** Ein Leitfaden f. Kaufleute, Studier. u. Juristen. V. Justizrat Dr. M. Strauß. (Bd. 409.)
**Kaufmännische Angestellte.** D. Recht d. k. A. V. Justizr. Dr. M. Strauß. (361.)
**Kinderfürsorge.** Von Prof. Dr. Chr. J. Klumker. (Bd. 620.)
**Kinematographie.** Von Dr. H. Lehmann. 2. Aufl. V. Dr. W. Merté. Mit Abb. (Bd. 358.)
**Klein- u. Straßenbahnen, Die.** V. Obering. a. D. Oberlehrer A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)
**Kleintierzucht, Die.** Von Redakt. Joh. Schneider. M. 58 Fig. i. T. u. a. 6 Taf. (Bd. 604.)
— siehe auch Tierzüchtung.
**Kohlen, Unsere.** V. Bergass. P. Kukuk. Mit 60 Abb. i. Text u. 3 Taf. (Bd. 396.)
**Kolonialbotanik.** Von Prof. Dr. F. Tobler. Mit 21 Abb. (Bd. 184.)
**Kolonisation, Innere.** Von A. Brenning. (Bd. 261.)
**Konservierung** siehe Desinfektion.
**Konsumgenossenschaft, Die.** Von Prof. Dr. F. Staudinger. (Bd. 222.)
— s. auch Mittelstandsbewegung, Wirtschaftliche Organisationen.
**Kraftanlagen** siehe Dampfmaschine, Feuerungsanlagen und Dampfkessel, Wärmekraftmaschine, Wasserkraftmaschine.

**Kraftübertragung.** Die elekt. V. Ing. P. Köhn. 2. Afl. M. Abb. (Bd. 424.)
**Krieg.** Kulturgeschichte d. K. V. Prof. Dr. K. Weule, Geh. Hofrat Prof. Dr. E. Bethe, Prof. Dr. B. Schmeidler, Prof. Dr. A. Doren, Prof. D. P. Herre. (Bd 561.)
**Kriegsbeschädigtenfürsorge.** In Verbindung mit Med.-Rat. Oberstabsarzt u. Chefarzt Dr. Rebentisch, Gewerbeschuldir. H. Back, Direktor des Städt. Arbeitsamts Dr. W. Schlotter hrsg. v. Prof. Dr. S. Kraus, Leit. d. Städt. Fürsorgeamts für Kriegshinterblieb. in Frankfurt a. M. M. 2 Abbildgst. (523.)
**Kriegsschiffe,** Unsere. Ihre Entstehg. u. Verwendg. V. Geh. Marinebaur. a. D. E. Krieger. 2. Afl. v. Marinebaur. Fr. Schürer. Mit 62 Abb. (389.)
**Kriminalistik,** Moderne. Von Amtsrichter Dr. A. Hellwig. M. 18 Abb. (Bd. 476.)
— s. a. Verbrechen, Verbrecher.
**Küche** siehe Chemie in Küche und Haus.
**Landwirtschaft,** Die deutsche. V. Dr. W. Claaßen. 2. Aufl. Mit 15 Abb. u. 1 Karte. (Bd. 215.)
— s. auch Agrikulturchemie, Kleintierzucht, Luftstickstoff, Tierzüchtung; Haustiere, Tierkunde Abt. V.
**Landwirtschaftl. Maschinenkunde.** V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. G. Fischer. 2. Afl. Mit 64 Abbildungen. (Bd. 316.)
**Luftfahrt,** Die, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung. Von Dr. R. Nimführ. 3. Aufl. v. Dr. Fr. Huth. M. 60 Abb. (Bd. 300.)
**Luftstickstoff,** Der, u. s. Verw. V. Prof. Dr. K. Kaiser. 2. A. M. 13 Abb. (313.)
**Lüftung.** Heizung und L. Von Ingenieur J. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)
**Marx,** Karl. Versuch e. Einführung. V. Prof. Dr. R. Wilbrandt. 2. A. (621.)
— s. auch Sozialismus.
**Maschinen** s. Dampfmaschine, Hebezeuge, Landwirtsch. Maschinenkunde, Wärmekraftmasch., Wasserkraftmasch.
**Maschinenelemente.** Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3. A. M. 175 Abb. (Bd. 301.)
**Maße und Messen.** Von Dr. W. Block. Mit 34 Abb. (Bd. 385.)
**Mechanik.** V. Prof. Dr. G. Hamel. 3 Bde. I. Grundbegriffe d. M. II. M. der festen Körper. III. M. d. flüss. u. luftförm. Körper. (Bd. 684/686.)
— Aufgaben aus der technischen M. f. d. Schul- u. Selbstunterr. V. Prof. R. Schmitt. M. zahlr. Fig. I. Bewegungsl., Statik. 156 Aufg. u. Lösungen. II. Dynam. 140 A. u. Lös. (Bd. 558/559.)
**Messen** siehe Maße und Messen.
**Miete,** Die, nach d. BGB. Ein Handbüchlein f. Juristen, Mieter u. Vermieter. V. Justizrat Dr. M. Strauß. (194.)
**Mikroskop,** Das. V. Prof. Dr. W. Scheffer. 2. Aufl. M. 99 Abb. (Bd. 35.)
**Milch,** Die, und ihre Produkte. Von Dr. A. Reitz. Mit 16 Abb. (Bd. 362.)
**Mittelstandsbewegung,** Die moderne. Von Dr. L. Müffelmann. (Bd. 417.)
— siehe Konsumgenoss., Wirtschaftl. Org.
**Nahrungsmittel** s. Abt. V.
**Naturwissensch. u. Technik.** Am sausenden Webstuhl d. Zeit. Übers. üb. d. Wirkgn. d. Entw. d. N. u. T. a. d. ges. Kulturleb. V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. W. Launhardt. 3. Aufl. Mit 3 Abb. (Bd. 23.)
**Nautik.** V. Dir. Dr. J. Möller. 2. Aufl. Mit vielen Abb. (Bd. 255.)
**Optischen Instrumente,** Die. Lupe, Mikroskop, Fernrohr, photogr. Objektiv u. ihnen verw. Instr. Von Prof. Dr. M. v. Rohr. 3. Aufl. M. 89 Abb. (Bd. 88.)
**Organisationen,** Die wirtschaftlichen. Von Prof. Dr. E. Lederer. (Bd. 428.)
**Ostmark,** Die. Eine Einführ. i. d. Probleme ihrer Wirtschaftsgesch. Hrsg. von Prof. Dr. W. Mitscherlich. (Bd. 351.)
**Patente u. Patentrecht** s. Gewerbl. Rechtsschutz.
**Perpetuum mobile,** Das. V. Dr. Fr. Ichak. Mit 38 Abb. (Bd. 462.)
**Photochemie.** Von Prof. Dr. G. Kümmell. 2. Aufl. Mit 23 Abb. i. Text u. auf 1 Tafel. (Bd. 227.)
**Photographie,** Die, ihre wissenschaftlichen Grundlagen u. i. Anwendung. V. Dr. O. Prelinger. 2. Aufl. Mit Abb. (414.)
— Die künstlerische Ph. Ihre Entwicklung, ihre Probleme, ihre Bedeutung. Von Dr. W. Warstat. 2., verb. Aufl. Mit Bilderanh. (Bd. 410.)
— Angewandte Liebhaber-Photographie, ihre Technik und ihr Arbeitsfeld. Von Dr. W. Warstat. Mit Abb. (Bd. 535.)
**Physik in Küche und Haus.** Von Prof. Dr. H. Speitkamp. M. 51 Abb. (Bd. 478.)
— siehe auch Physik in Abt. V.
**Postwesen,** Das. Von Oberpostrat O. Sieblist. 2. Aufl. (Bd. 182.)
**Rechenmaschinen,** Die, und das Maschinenrechnen. Von Reg.-Rat Dipl.-Ing. K. Lenz. Mit 43 Abb. (Bd. 190.)
**Recht** siehe Erbrecht, Gewerbl. Rechtsschutz, Kaufm. Angest., Kriminalistik, Urheberrecht, Verbrechen, Verfassungsrecht, Zivilprozeßrecht.
— Rechtsfragen des täglichen Lebens in Familie und Haushalt. Von Justizrat Dr. M. Strauß. (Bd. 219.)
**Rechtsprobleme,** Moderne. V. Geh. Justizr. Prof. Dr. J. Kohler. 3. Aufl. (Bd. 128.)
**Salzlagerstätten,** Die deutschen. Ihr Vorkommen, ihre Entstehung und die Verwertung ihrer Produkte in Industrie und Landwirtschaft. Von Dr. C. Riemann. Mit 27 Abb. (Bd. 407.)
— siehe auch Geologie Abt. V.
**Schiffbau** siehe Kriegsschiffe.
**Schmuckst.,** Die, u. d. Schmucksteinindustr. V. Dr. A. Eppler. M. 64 Abb. (Bd. 376.)

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände innerhalb der Wissenschaften alphabetisch geordnet

**Soziale Bewegungen u. Theorien b. z. mod. Arbeiterbew.** V. G. Maier. 6. A. (Bd. 2.)
— s. a. Arbeiterschutz u. Arbeiterversicher.
**Sozialismus. Gesch. der sozialist. Ideen i. 19. Jrh.** V. Privatdoz. Dr. Fr. Muckle. 3. A. I: D. ration. Soz. II: Proudhon u. d. entwicklungsgeschichtl. Soz. (Bd. 269, 270.)
— s. auch Marx; Rom. Soz. Kämpfe i. alt. R. Abt. IV.
**Spinnerei. Die.** Von Dir. Prof. M. Lehmann. Mit 35 Abb. (Bd. 338.)
**Sprengstoffe. Die, ihre Chemie u. Technologie.** V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. Biedermann. 2. Aufl. M. 12 Fig. (286.)
Staat siehe Abt. IV.
**Statik. Mit Einschluß der Festigkeitslehre.** Von Reg.-Baum. Baugewerkschuldirekt. A. Schau. M. 149 Fig. i. T. (Bd. 497.)
— siehe auch Mechanik. Aufg. a. d. M. I
**Statistik.** V. Prof. Dr. S. Schott. (442.)
**Strafe und Verbrechen. Geschichte u. Organis. d. Gefängniswes.** V. Strafanstaltsdir. Dr. med. P. Pollitz. (Bd. 323.)
**Straßenbahnen. Die Klein- u. Straßenb.** Von Oberingenieur a. D. Oberlehrer A. Liebmann. M. 85 Abb. (Bd. 322.)
**Tabak. Der. Anbau, Handel u. Verarbeit.** V. Jac. Wolf. 2., verb. u. ergänzte Aufl. Mit 17 Abb. (Bd. 416.)
**Technik. Die chemische.** Von Dr. A. Müller. Mit 24 Abb. (Bd. 191.)
— **Einführung in d. T.** Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. H. Lorenz. (Bd. 729.)
Techn. Zeichnen s. Zeichnen.
**Telegraph. D. Telegraph.- u. Fernsprechw.** V. Oberpostr. O. Sieblist. 2. A. (183.)
— **Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung.** V. Oberpost-Insp. H. Brick. 2. A. Mit 65 Abb. (Bd. 235.)
— **Die Funkentelegr.** V. Telegr.-Insp. H. Thurn. 5. Aufl. M. 51 Abb. (Bd. 167.)
— siehe auch Drähte und Kabel.
**Testamentserrichtung und Erbrecht.** Von Prof. Dr. F. Leonhard. (Bd. 429.)
**Thermodynamik. Praktische. Aufgaben u. Beispiele zur technischen Wärmelehre.** Von Geh. Bergrat Prof. Dr. R. Vater. Mit 40 Abb. i. Text u. 3 Taf. (Bd. 596.)
— siehe auch Wärmelehre.
**Tierzüchtung.** Von Tierzuchtdirektor Dr. G. Wilsdorf. 2. Aufl. M. 23 Abb. auf 12 Taf. u. 2. Fig. i. T. (Bd. 369.)
— siehe auch Kleintierzucht.
**Uhr. Die. Grundlagen u. Technik d. Zeitmessg.** V. Prof. Dr.-Ing. H. Bock. 2., umgearb. Aufl. Mit 55 Abb. i. T. (216.)
**Urheberrecht. D. Recht a. Schrift- u. Kunstw.** V. Rechtsanw. Dr. R. Mothes. (435.)
— siehe auch gewerblich. Rechtsschutz.
**Verbrechen. Strafe und V. Geschichte u. Organisation d. Gefängniswesens.** V. Strafanst.-Dir. Dr. med. P. Pollitz. (Bd. 323.)
— **Moderne Kriminalistik.** V. Amtsrichter Dr. A. Hellwig. M. 18 Abb. (Bd. 476.)
**Verbrecher. Die Psychologie des V. (Kriminalpsych.)** V. Strafanstaltsdir. Dr. med. P. Pollitz. 2. A. M. 5 Diagr. (Bd. 248.)
— s. a. Handschriftenbeurt. Abt. I.
**Verfassg. Grundz. d. V. d. Deutsch. Reiches.** V. Geheimrat Prof. Dr. E. Loening. 5. Aufl. (Bd. 34.)
**Verfassg. und Verwaltung der deutschen Städte.** Von Dr. M. Schmid. (466.)
— **Deutsch. Verfassgsr. i. geschichtl. Entwickl.** V. Pr. Dr. E. Hubrich. 2. A. (Bd. 80.)
**Verkehrsentwicklung i. Deutschl. 1800 bis 1900 (fortges. b. z. Gegenw.).** V. Prof. Dr. W. Lotz. 4., verb. Aufl. (Bd. 15.)
**Versicherungswesen. Grundzüge des V. (Privatversicher.).** Von Prof. Dr. A. Manes. 3., veränd. Aufl. (Bd. 105.)
**Waffentechnik** siehe Handfeuerwaffen.
**Wald, Der deutsche.** V. Prof. Dr. Hausrath. 2. A. Bilderanh. u. 2 Kart. (153.)
**Wärmekraftmaschinen. Die neueren.** Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 2 Bde. I: Einführung in die Theorie u. d. Bau d. Gasmasch. 5. Aufl. M. 41 Abb. (Bd. 21.) II: Gaserzeuger, Großgasmasch., Dampf- u. Gasturb. 4. Aufl. M. 43 Abb. (Bd. 86.)
— siehe auch Kraftanlagen.
**Wärmelehre, Einführ. i. d. techn. (Thermodynamik).** Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. M. 40 Abb. i. Text. (Bd. 516.)
— s. auch Thermodynamik.
**Wasser. Das.** Von Geh. Reg.-Rat Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)
— s. a. Luft, Wass., Licht, Wärme Abt. V.
**Wasserkraftmaschinen. Die, u. d. Ausnützg. d. Wasserkräfte.** Von Geh. Reg.-Rat A. v. Ihering. 2. A. M. 57 Abb. (Bd. 228.)
**Weidwerk. D. dtsche.** V. Forstmeist. G. Frhr. v. Nordenflycht. M. Titelb. (436.)
**Weinbau und Weinbereitung.** Von Dr. F. Schmitthenner. 34 Abb. (Bd. 332.)
**Welthandel** siehe Handel.
**Wirtschaftlichen Organisationen. Die.** Von Prof. Dr. E. Lederer. (Bd. 428.)
— s. Konsumgenoss., Mittelstandsbeweg.
**Wirtschaftsgeographie.** Von Prof. Dr. F. Heiderich. (Bd. 633.)
**Wirtschaftsgesch.** s. Antike W., Ostmark.
**Wirtschaftsleben. Deutsch. Auf geograph. Grundl. gesch.** v. Prof. Dr. Chr. Gruber. 4. A. v. Dr. H. Reinlein. (42.)
— **Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens i. letzten Jahrh.** V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. L. Pohle. 3. A. (57.)
— **Deutschl. Stellung i. d. Weltwirtsch.** V. Prof. Dr. P. Arndt. 3. A. (Bd. 179.)
**Wohnungswesen. Das.** Von Dipl.-Ing. Lepser. (Bd. 707.)
**Zeichnen. Techn.** Von Prof. Dr. Horstmann. (Bd. 548.)
**Zeitungswesen.** V. Dr. H. Diez. 2. Aufl. (Bd. 328.)
**Zivilprozeßrecht. Das deutsche.** Von Justizrat Dr. M. Strauß. (Bd. 315.)

**Weitere Bände sind in Vorbereitung.**

Druck von B. G. Teubner in Dresden

2 Reihen. Winklers Scherenschnitte, 6 Kart. in Umschl. M. -.80. Kriegsscheiben-Karten in 2 Reihen (diese nicht mit Einfass. käufl.). Denkwürdige Stätten aus Nordfrankreich. 12 Karten nach Orig.-Lithograph. von K. Lohe. Diefenbachs Schattenbilder in 6 Reihen (diese auch in viereckigen oder ovalen Holzrähmchen zu je M. 2 25 bezw. M. 2.50). Aus dem Kinderleben, 6 Karten nach Bleistiftzeichn. von Hela Peters. 1. Der gute Bruder. 2. Der böse Bruder. 3. Wo drückt der Schuh? 4. Schmeichelkätzchen. 5. Püppchen, aufgepaßt! 6. Große Wäsche. In Umschl. M. —.80. Schattenrißkarten von Gerda Luise Schmidt: 1. Reihe: Spiel u. Tanz, Fest im Garten, *Blumenorakel, Die kleine Schäferin, Belauschter Dichter, Rattenfänger von Hameln. 2. Reihe: *Die Freunde, *Der Besuch, Im Grünen, *Reifenspiel, *Ein Frühlingsstrauß, *Der Liebesbrief. 3. Reihe: *Der Brief an „Ihn", *Annäherungsversuch, *Am Spinett, *Beim Wein, *Ein Märchen, *Der Geburtstag. Jede Reihe in Umschl. M. -.60

*Diese Schattenrißkarten von Gerda Luise Schmidt auch als Bilder im Format 20×35 cm je M. —.50. In Mahagonirähmchen m. Glas einschl. Bild je M. 5.50

... m. farb. Wiederg. v. ü. 200 Bl. geg. Einsendg. v. 75 Pf. ... nausg. umsonst. Beide v. Verlag in Leipzig, Poststr. 3.

...ubner in Leipzig und Berlin

